NOVIGLIO data Centres MXPI
Noviglio

PLATEA DATA HALL
RELAZIONE DI CALCOLO
MXP I-I

MXP-MAE-ZZ-ZZ-CA-S-0005

Revision N°	Revision Date	Issue Description	Dra.	Ver.App.
P01	2022/12/16	Issued for Construction – WP1	IC	RMN
P02	2023/02/17	Issued for Construction – WP2	IC	RMN

Sommario

1 ABSTRACT 4
2 OGGETTO 4
3 PREMESSE 6
3.1 Normativa di riferimento 6
3.2 Codici di calcolo 6
4 ANALISI DEI CARICHI 7
4.1 Pesi propri materiali strutturali 7
4.2 Carichi permanenti non strutturali 7
4.3 Sovraccarichi 7
4.4 Coefficienti parziali di sicurezza 7
4.5 Combinazioni di carico 8
5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI 10
6 ANALISI DELLA STRUTTURA 11
6.1 Modellazione della struttura 11
6.2 Casi di carico elementari 14
6.3 Combinazioni di carico 14
7 RISULTATI 16
7.1 Cedimenti 16
7.2 Pressioni sul terreno 16
7.3 Reazioni vincolari 17
7.4 Sollecitazioni 18
8 VERIFICHE 22
8.1 Verifiche allo stato limite ultimo 22
8.2 Verifiche allo stato limite di esercizio 22
8.3 Flessione per momenti M_{xx} positivi 23
8.4 Flessione per momenti M_{xx} negativi 30
8.5 Flessione per momenti M_{yy} positivi 37
8.6 Flessione per momenti M_{yy} negativi 44
8.7 Taglio 51
8.8 Punzonamento 53
8.9 Giunto strutturale 55

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Inquadramento dell'area 5
Figura 2 – Platea di Fondazione: Planimetria 5
Figura 3 - Coefficienti parziali per le azioni (Tab.2.6.I NTC2018) 7
Figura 4 - Valori dei coefficienti di combinazione (Tab.2.5.I NTC2018) 8
Figura 5 - Coefficienti di combinazione in uso 9
Figura 6 - Campo tipico di platea oggetto di modellazione FEM 11
Figura 7 – Modellazione FEM della struttura: individuazione della mesh e dei vincoli di simmetria 12
Figura 8 - Modellazione FEM della struttura: individuazione dei giunti strutturali 13
Figura 9 - Interazione palo-platea 14
Figura 10 – Combinazioni di carico 15
Figura 11 - Cedimenti secondo l'asse globale Z in combinazione SLE Rara 16
Figura 12 – Andamento delle pressioni sul terreno in combinazione SLE Rara 17
Figura 13 – Reazioni secondo l'asse globale Z sui pali riduttori di cedimento in combinazione SLU 18
Figura 14 – Sistema di riferimento locale xyz per gli elementi "plate" 19
Figura 15 - Momenti M_{xx} in combinazione ultima SLU 20
Figura 16 - Momenti M_{yy} in combinazione ultima SLU 20
Figura 17 – Tagli V_{xx} in combinazione ultima SLU 21
Figura 18 – Tagli V_{yy} in combinazione ultima SLU 21
Figura 19 - Tab. 4.1.III NTC2018 22
Figura 20 - Tab. 4.1.IV NTC2018 23
Figura 21 - Momento M_{xx+} di verifica 24
Figura 22 - Momento M_{xx-} di verifica 30
Figura 23 - Momento M_{yy+} di verifica 37
Figura 24 - Momento M_{yy-} di verifica 44
Figura 25 – Taglio V_{max} di verifica 51
Figura 26 – Punzonamento V_{Ed} di verifica 53
Figura 27 - Taglio in corrispondenza del giunto strutturale 55

1 ABSTRACT

This calculation report shows the analysis and the verifications for the design of the slab foundation with settlement reducing piles of the Data Room.

The slab ha planimetric dimension inscribed in a 250x47 m rectangle and has a constant thickness of 0.40 m. from a structural point of view, the slab has a stuctural joint in the middle of its longitudinal development in corrispondence of the doubling of the columns (see fig. 2). The slab is also divided in blocks by saddle joints as specified in Chapter 5. In order to guarantee the integrity of the slab crack controlling joints are planned haveing a maximum deth of 40 mm and creating 20 m^2 blocks.

In Chapter 4 the loads analysis in accordance with the NTC2018 and the Client requests is reported while for the material properties refer to Chapter 5 and the design drawings.

The analysis of the foundation structure was completed using the displacement methods with a finite elements model. The design software used for the modelling was MIDAS GEN already described in Paragraph 3.2. The analitic model uses 50x50 cm quadrilateral “plate” type elements for the foundation slab with a constant thickness of 40 cm in accordance with the work dimension.

The model concerne a typological block of the slab between 2 strudtural joints as better described in the following Figure 5 that shows the geometrical dimensions relevant for the calculation.

Regarding the structur-foundation soil interation the following hypothesis are applied:

1. The slab -soil interaction is reppresented as a Winkler elastic soil. According to this method the soil is schematized as a spring bed able to react to loads acting along their axis, the spring behavior is linear elastic. Surface Spring Supports were introduced in the model having a subgrade reaction of:

$$K_{v,soil} = 1’000 kN/m^3$$

2. The presence of the settlement reducing piles is represented by a Point Spring Support that has a vertical elstic constant equal to:

$$K_{v,settlement\ pile} = 100’000 kN/m$$

3. The piles below the columns plinths is represented by a Point Spring Support that has a vertic elastic constant equal to:

$$K_{v,\ plinth\ pile} = 350’000 kN/m$$

For details on the estimate of the stiffness usede refer to the interaction analysis reporte in the “*Geotechnical Report*”.

In Chapter 7 the results of the calculation are reported in terms of vertical displacements (§7.1), piles reactions (§7.2) and internal actions of the foundation slab. For the verifications refer to Chapter 8 where the resistence verifications (ULS) and cracking checks (SLS) in accordance with the Regulation in force are reported.

2 OGGETTO

La presente relazione di calcolo è stata redatta nell'ambito del progetto di un nuovo Data Center da realizzare in un'area (*Figura 1* – linea tratteggiata rossa) ubicata a sud del territorio comunale al confine con il comune di Binasco di circa 220'000mq in pianta.

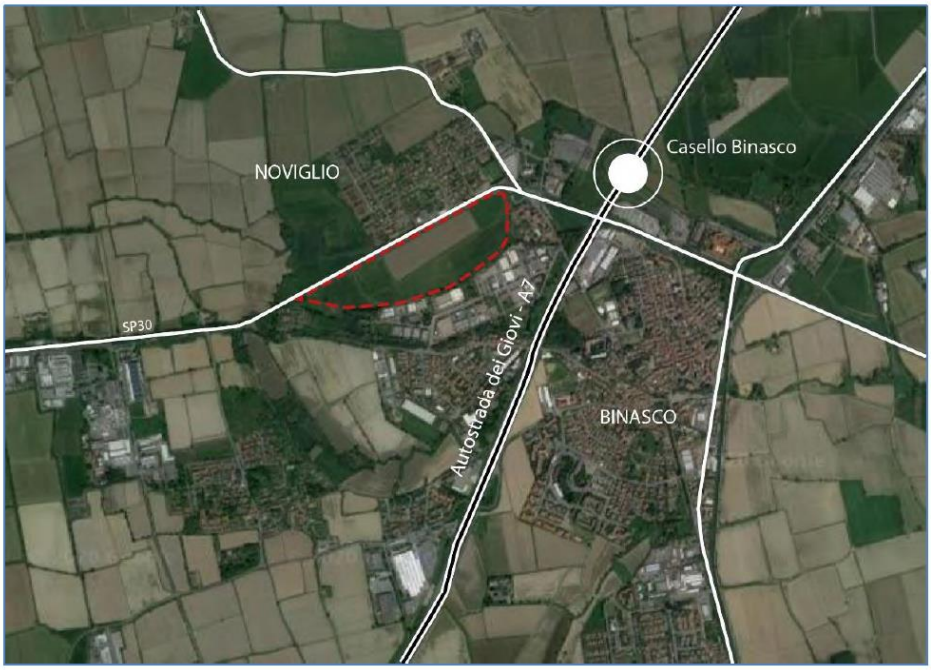


Figura 1 – Inquadramento dell'area

In particolare si tratta delle verifiche di dimensionamento del sistema di fondazione della platea della Data Room impostata su pali riduttori di cedimento. Nell'immagine seguente è illustrata la pianta della platea con indicazione dei pilastri della sovrastruttura e l'ingombro dei relativi plinti su pali.

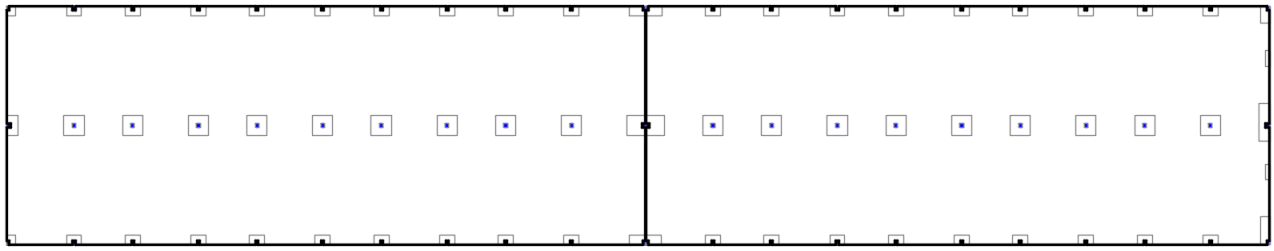


Figura 2 – Platea di Fondazione: Planimetria

L'opera ha dimensioni planimetriche inscrivibili in un rettangolo di circa 250x47m e ha uno spessore costante di 40cm. Dal punto di vista strutturale, è caratterizzata dalla presenza di un giunto strutturale principale disposto a metà del suo sviluppo longitudinale in corrispondenza del raddoppio dei pilastri (vedi Figura 2 – Platea di Fondazione: Planimetria).

La platea è, inoltre, suddivisa in campi da ulteriori giunti strutturali "*a sella*" come meglio definiti nel successivo Capitolo 5. Al fine, poi, di garantire l'integrità della stessa sono stati previsti tagli di prefessurazione aventi profondità massima pari a 40mm a formare campi elementari di circa 20m^2.

3 PREMESSE

3.1 Normativa di riferimento

La presente *Relazione di Calcolo* è stata redatta in accordo con la vigente Normativa nazionale (NTC-2018) e regionale vigente ciò che prevede di eseguire le verifiche con riferimento alla teoria degli "*stati limite*":

[Rif.1.] **D.M. 17/01/2018** "Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" - GU n°8 del 17/2/2018

[Rif.2.] **Circolare 21 gennaio 2019**, n.7 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - *Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"*» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. Gazzetta Ufficiale del 11.02.2019 n. 5, supplemento ordinario n.35.

[Rif.3.] **D.G.R. 30 novembre 2011** "*Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio* […]"

[Rif.4.] **D.G.R. 11 luglio 2014, n.2129** "*Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (L.R.1/2000, art.3, c.108, lett. d)*".

[Rif.5.] **L.R. 12 ottobre 2015 n.33** "*Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche*" BURL Supplemento n.42 del 16 ottobre 2015

[Rif.6.] **UNI-EN 1997-1:2005** – "Eurocodice 7: Progettazione geotecnica – Parte 1: regole generali"

[Rif.7.] **UNI EN 1998-1:2005** "Eurocode 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici".

[Rif.8.] **UNI-EN 1998-5:2005** "Eurocodice 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici"

3.2 Codici di calcolo

Le analisi numeriche di cui al seguito sono state condotte con il codice di calcolo commericale denominato **MIDAS GEN** distribuito in Italia da CSPFea (PD).

Le verifiche sezionali (resistenza, tensioni, ecc.) sono state condotte con il programma denominato **VCASLU** realizzato e distribuito da P. Gelfi.

Ulteriori verifiche (fessurazione, taglio, punzonamento, ecc.) sono state condotte con l'ausilio di **fogli di calcolo** elaborati e testati dallo scrivente.

4 ANALISI DEI CARICHI

4.1 Pesi propri materiali strutturali

Il peso proprio della struttura è preso in conto direttamente dal software di calcolo. Nello specifico per il calcestruzzo armato costituente la platea si considera una densità di:

$$\gamma_{cls} = 25.0 \ kN/m^3$$

Ciò in ottemperanza a quanto previsto dalla Tab. 3.1.I NTC2018.

La platea, come visto, ha uno spessore costante pari a 40cm, pertanto si considera un peso proprio strutturale di:

$$\gamma_{g1} = 10.0 kN/m^2$$

4.2 Carichi permanenti non strutturali

Sono considerati carichi permanenti non strutturali i carichi presenti sulla costruzione durante il suo normale esercizio. Nello specifico, non sono previsti in progetto carichi appartenenti a questa tipologia.

4.3 Sovraccarichi

I sovraccarichi comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera. Nello specifico si considera un'azione che assume il seguente valore:

$$q_{uso} = 20.0 \ kN/m^2$$

La distribuzione spaziale del carico sulla platea è volta a massimizzare le sollecitazioni sulla stessa.

4.4 Coefficienti parziali di sicurezza

I coefficienti parziali di sicurezza γ_G e γ_Q sono dati nella Tabella 2.6.I delle NTC2018.

Tab. 2.6.I – *Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU*

		Coefficiente γ_F	EQU	A1	A2
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali G_2[(1)]	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Figura 3 - Coefficienti parziali per le azioni (Tab.2.6.I NTC2018)

I valori dei coefficienti di combinazione ψ_0, ψ_1 e ψ_2 sono riportati nella Tabella 2.5.I delle NTC2018.

Tab. 2.5.I – *Valori dei coefficienti di combinazione*

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E – Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse , parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G – Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I – Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K – Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Figura 4 - Valori dei coefficienti di combinazione (Tab.2.5.I NTC2018)

4.5 Combinazioni di carico

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni (Paragrafo 2.5.3 delle NTC2018).

Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1}\cdot G_1 + \gamma_{G2}\cdot G_2 + \gamma_P\cdot P + \gamma_{Q1}\cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2}\cdot\psi_{02}\cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3}\cdot\psi_{03}\cdot Q_{k3} + \ldots$$

Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02}\cdot Q_{k2} + \psi_{03}\cdot Q_{k3} + \ldots$$

Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11}\cdot Q_{k1} + \psi_{22}\cdot Q_{k2} + \psi_{23}\cdot Q_{k3} + \ldots$$

Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21}\cdot Q_{k1} + \psi_{22}\cdot Q_{k2} + \psi_{23}\cdot Q_{k3} + \ldots$$

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21}\cdot Q_{k1} + \psi_{22}\cdot Q_{k2} + \ldots$$

Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21}\cdot Q_{k1} + \psi_{22}\cdot Q_{k2} + \ldots$$

Il dettaglio delle singole combinazioni di carico è demandato ai successivi capitoli di analisi e verifica delle specifiche sezioni.

Per quanto concerne il carico d'uso di progetto di cui al Paragrafo 4.3 si adotta una "Categoria E" secondo la Tab. 2.5.I NTC2018 (Figura 4) i cui valori dei coefficienti di combinazione sono qui riportati (Figura 5):

Tab. 2.5.I – *Valori dei coefficienti di combinazione*

Categoria/Azione variabile	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Categoria E – Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
[illegible] di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6

Figura 5 - Coefficienti di combinazione in uso

5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Magrone di sottofondo

- Classe di resistenza minima: **C12/15**
- Classe di esposizione: XC0

Calcestruzzo per getti protetti

- Classe di resistenza: **C30/37**
- Classe di esposizione: XC2
- Rapporto massimo a/c: 0.60
- Copriferro netto superiore (ricoprimento): 60mm
- Copriferro netto inferiore (ricoprimento): 30mm

Acciaio per armature lente

- Barre in acciaio ad aderenza migliorata: **B450C**
- Tensione caratteristica di rottura: $f_{tk} \geq 540MPa$
- Tensione caratteristica di snervamento : $f_{yk} \geq 450MPa$

6 ANALISI DELLA STRUTTURA

6.1 Modellazione della struttura

L'analisi della struttura di fondazione in oggetto è stata condotta adottando il metodo degli spostamenti con una modellazione a elementi finiti. Il software di calcolo impiegato nella modellazione (**MIDAS GEN**) è quello già descritto nel Paragrafo 3.2.

Le caratteristiche geometriche e meccaniche degli elementi resistenti nello schema di calcolo sono state desunte dalle dimensioni effettive e dalle rigidezze dei corrispondenti elementi della struttura reale, così da poter riprodurre fedelmente la risposta delle strutture sotto le azioni massime di progetto.

In particolare, il modello analitico prevede l'impiego per la platea di fondazione di elementi tipo "plate" a 4 nodi aventi dimensioni di 50x50cm e uno spessore costante di 40cm secondo la geometria del manufatto.

La modellazione ha riguardato un campo tipico di platea compreso fra due giunti strutturali consecutivi come meglio descritto dalla seguente Figura 6 che riporta la geometria significativa ai fini delle calcolazioni:

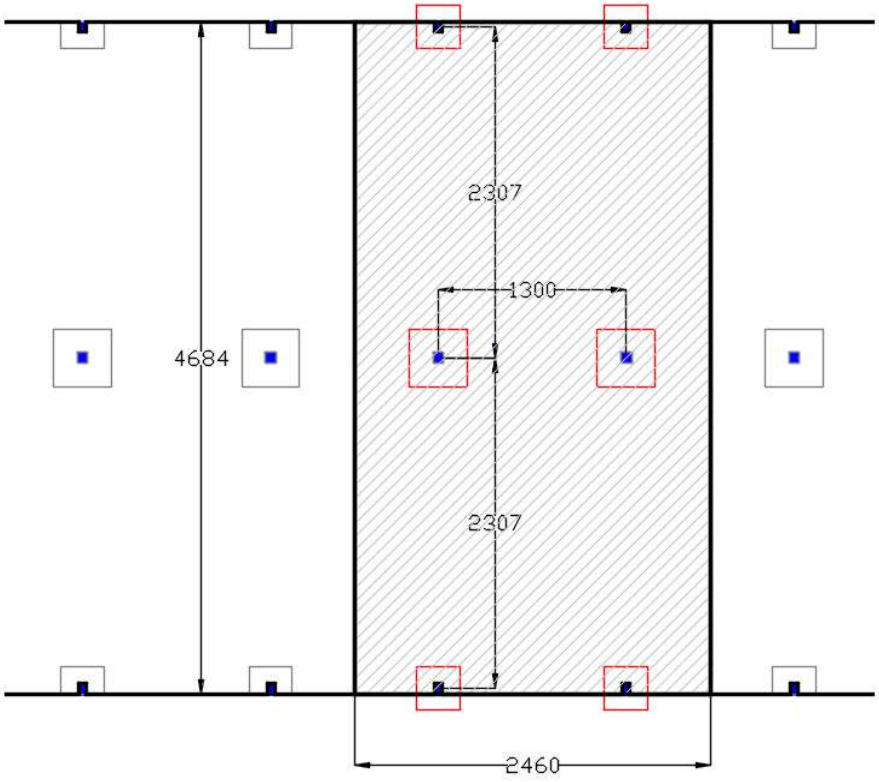


Figura 6 - Campo tipico di platea oggetto di modellazione FEM

La porzione di platea retinata in grigio che è oggetto di analisi ha dimensioni di 24.60x46.84m. In colore blu sono indicati i pilastri della sovrastruttura (maglia 13.00x23.07m) mentre in colore rosso sono indicate le impronte dei relativi plinti su pali (dimensioni 3.00x3.00 per gli esterni e 4.00x4.00m per i centrali) la cui quota di estradosso costituisce il piano di appoggio per la platea. Anche questi ultimi plinti sono stati modellati con gli stessi elementi tipo "plate" già visti per la platea ma di differente spessore.

Per simulare la situazione di appggio della platea sui plinti, inoltre, si è fatto ricorso a vincoli elastici (Elastic Link) aventi un comportamento monodirezionale e funzionanti per la sola azione di compressione

(Compression Only) in direzione verticale mentre sono libere le ulteriori componenti di traslazione e rotazione.

I pali riduttori di cedimento della platea hanno un diametro di 60cm e sono posizionati in opera secondo una maglia in nessun caso superiore a 5.00x5.00m.

Segue lo schema della modellazione FEM (Figura 7):

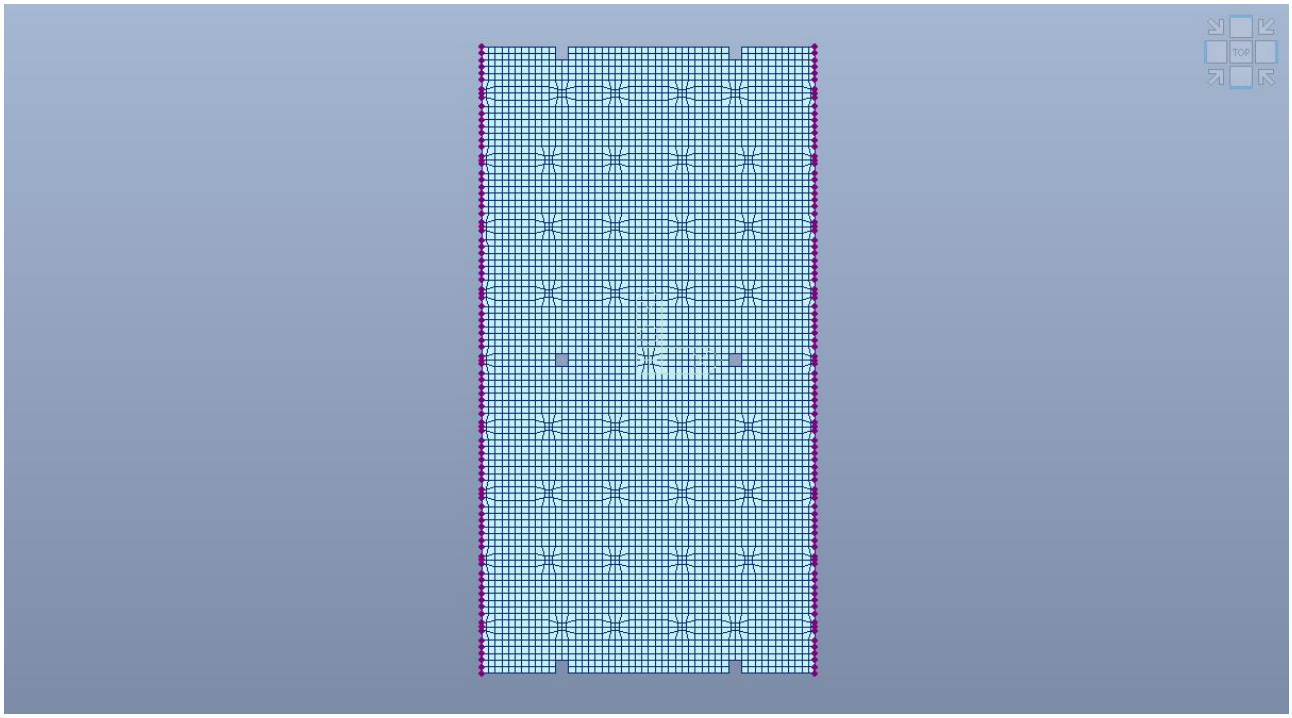


Figura 7 – Modellazione FEM della struttura: individuazione della mesh e dei vincoli di simmetria

L'origine del sistema di riferimento globale OXYZ coincide con l'incrocio dei due assi principali di simmetria della platea nel suo piano. Gli assi globali X e Y appartengono quindi al piano orizzontale della platea (positivi, rispettivamente, verso destra e verso l'alto) mentre l'asse globale Z è diretto secondo la verticale (positivo secondo la terna della mano destra).

In viola nella Figura 7 sono indicati i vincoli (Support) di simmetria introdotti nella modellazione atti a consentire la sola traslazione secondo Z dei nodi interessati impedendo le ulteriori componenti di spostamento e rotazione.

Per simulare il comportamento dei giunti strutturali nella loro posizone corretta e di cui alla precedente Figura 6, invece, si è fatto ricorso agli svincoli degli elementi plate sui nodi interessati (Plate End Release) per quanto concerne la componente di rotazione intorno all'asse locale desiderato (Figura 8):

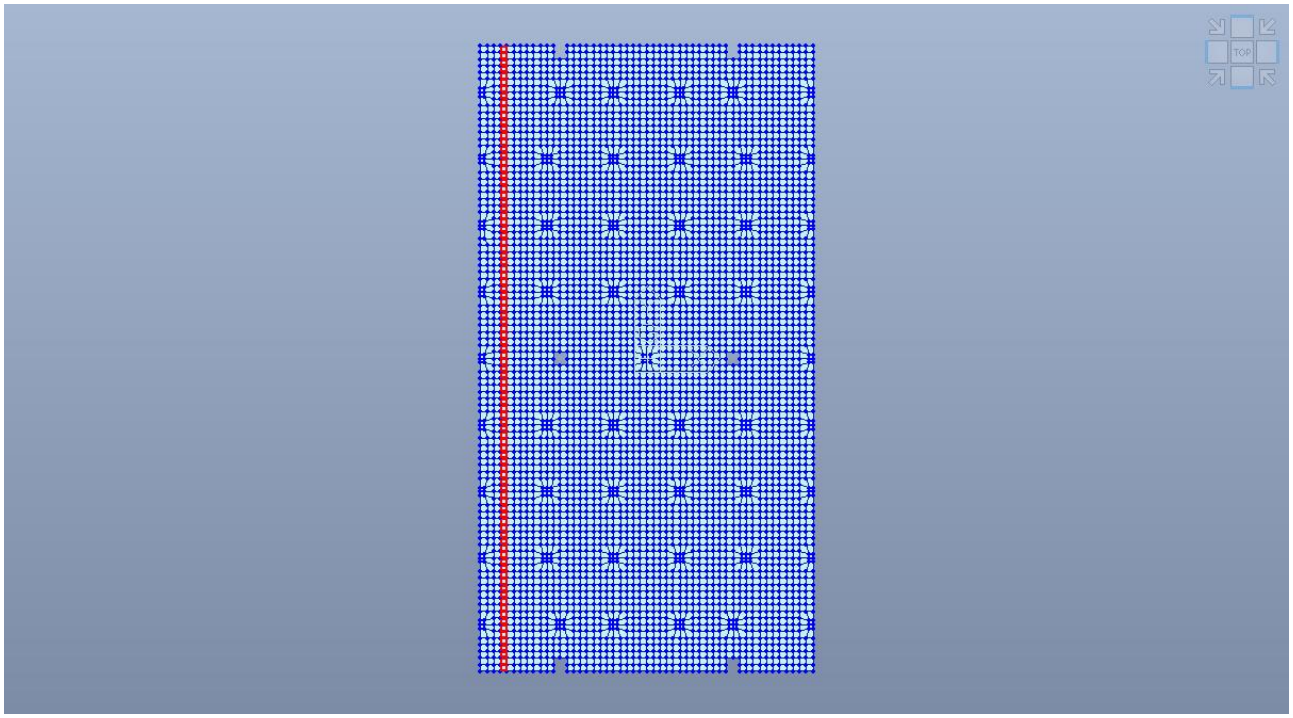


Figura 8 - Modellazione FEM della struttura: individuazione dei giunti strutturali

La stessa cosa vale per il giunto sul lato destro della platea.

Per quanto concerne l'interazione della struttura con il terreno di fondazione vale quanto segue:

1. L'interazione della platea con il suolo è rappresentata mediante una schematizzazione su suolo elastico alla Winkler. Secondo tale metodo il terreno viene schematizzato con un letto di molle in grado di reagire solo a sforzi diretti lungo il loro asse, per le quali si assume un comportamento elastico lineare. Quindi sono stati introdotti vincoli elastici (Surface Spring Support) aventi una costante di sottofondo, funzione del tipo di terreno presente in sito, pari a:

$$\mathbf{K_{v,terreno} = 1'000 kN/m^3}$$

2. La presenza dei pali di riduzione di cedimento della platea è schematizzata da un vincolo a terra (Point Spring Support) la cui costante elastica in direzione verticale Z è stata assunta pari a:

$$\mathbf{K_{v,palo\text{-}cedimento} = 100'000 kN/m}$$

3. La presenza dei pali di fondazione sotto i plinti è schematizzata da un vincolo a terra (Point Spring Support) la cui costante elastica in direzione verticale Z è stata assunta pari:

$$\mathbf{K_{v,palo\text{-}plinto} = 350'000 kN/m}$$

Per il dettaglio della stima dell'entità delle rigidezze in gioco si rimanda alle analisi di interazione documentate nella "*Relazione Geotecnica*".

Per considerare gli effetti della dimensione finita e non puntuale dei pali riduttori di cedimento, aventi diametro di 60cm, sulla platea sono stati introdotti i vincoli elastici (Elastic link) meglio descritti nella Figura 9 a seguire. Tali vincoli sono caratterizzati dalle componenti di spostamento e rotazione bloccate e connettono i nodi della proiezione del palo sulla platea con il nodo a terra:

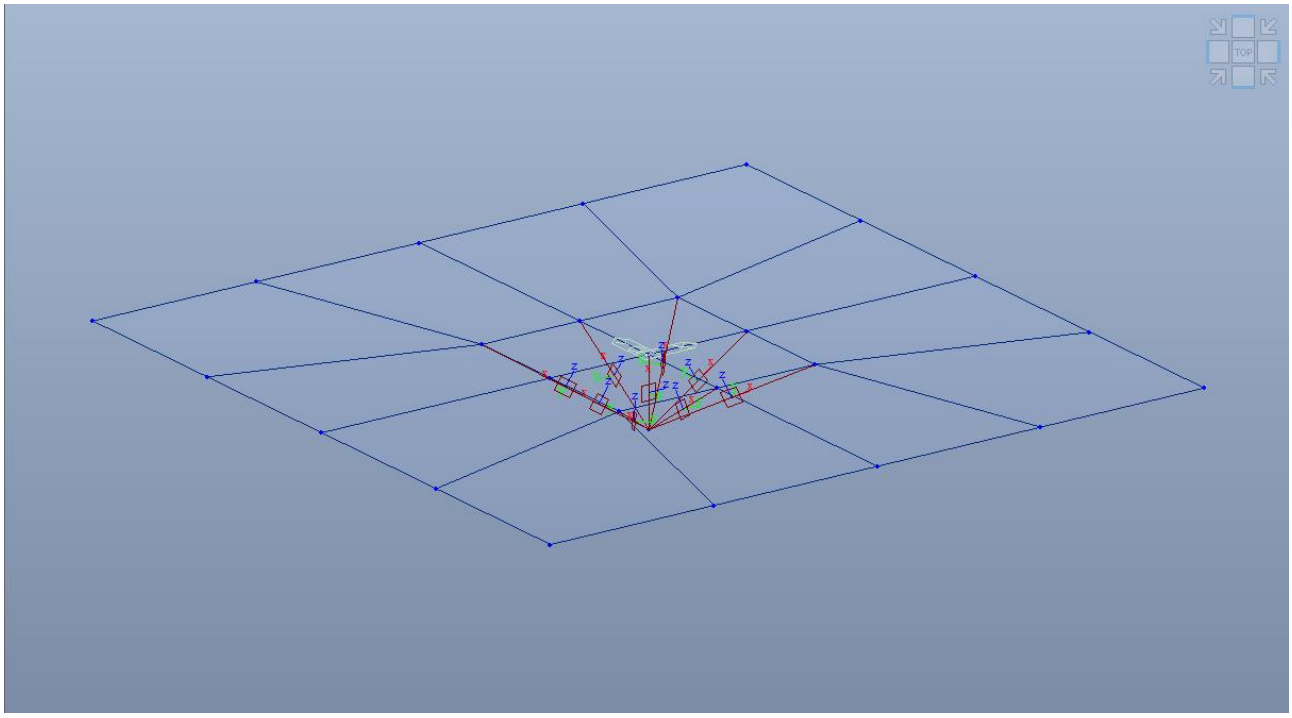


Figura 9 - Interazione palo-platea

6.2 Casi di carico elementari

Si introducono i seguenti casi di carico elementari. In evidenza la numerazione progressiva, il nome attribuito, la tipologia di carico e la descrizione sintetica:

CDC	Nome	Tipo	Descrizione
1	G1	Dead Load (D)	Peso proprio strutturale
2	Qk	Live Load (L)	Carico d'uso

6.3 Combinazioni di carico

I carichi elementari caratteristici di cui al precedente paragrafo, al fine di ottenere le sollecitazioni di progetto per effettuare le successive verifiche, sono opportunamente combinati secondo quanto previsto dal Capitolo 2 delle NTC2018.

Si definiscono, pertanto, le seguenti combinazioni di carico dove:

- SLU = Combinazioni allo Stato Limite Ultimo
- RA = Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio Rara
- FR = Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio Frequente
- QP = Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio Quasi permanente

Quanto espresso è compendiato nella seguente Figura 10:

No	Name	Active	Type	G1(ST)	Qk(ST)	G2(ST)	SLU(CB)	RA(CB)	FR(CB)	QP(CB)	Description
1	SLU	Activ	Add	1.3000	1.5000	1.5000					ultima
2	RA	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000					rara
3	FR	Activ	Add	1.0000	0.9000	1.0000					frequente
4	QP	Activ	Add	1.0000	0.8000	1.0000					quasi permanente

Figura 10 – Combinazioni di carico

7 RISULTATI

Seguono i risultati più significativi agli scopi della presente Relazione:

7.1 Cedimenti

La situazione di massimo cedimento, valutato nella combinazione di esercizio SLE Rara già introdotta in precedenza, è compendiata nella seguente Figura 11:

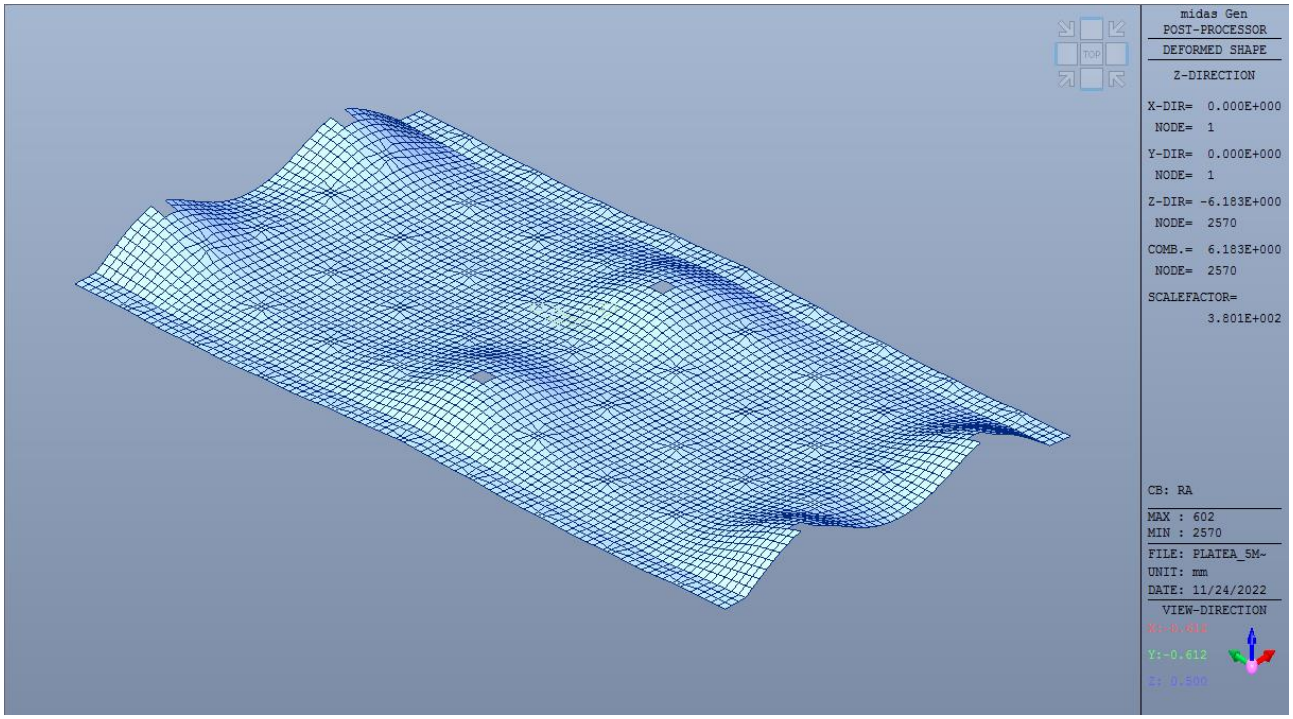


Figura 11 - Cedimenti secondo l'asse globale Z in combinazione SLE Rara

Si osserva che il massimo cedimento verticale atteso è pari a:

Z-DIR = 6.2mm

7.2 Pressioni sul terreno

L'andamento delle pressioni sul terreno, valutato nella combinazione di esercizio SLE Rara già introdotta in precedenza, è compendiata nella seguente Figura 12:

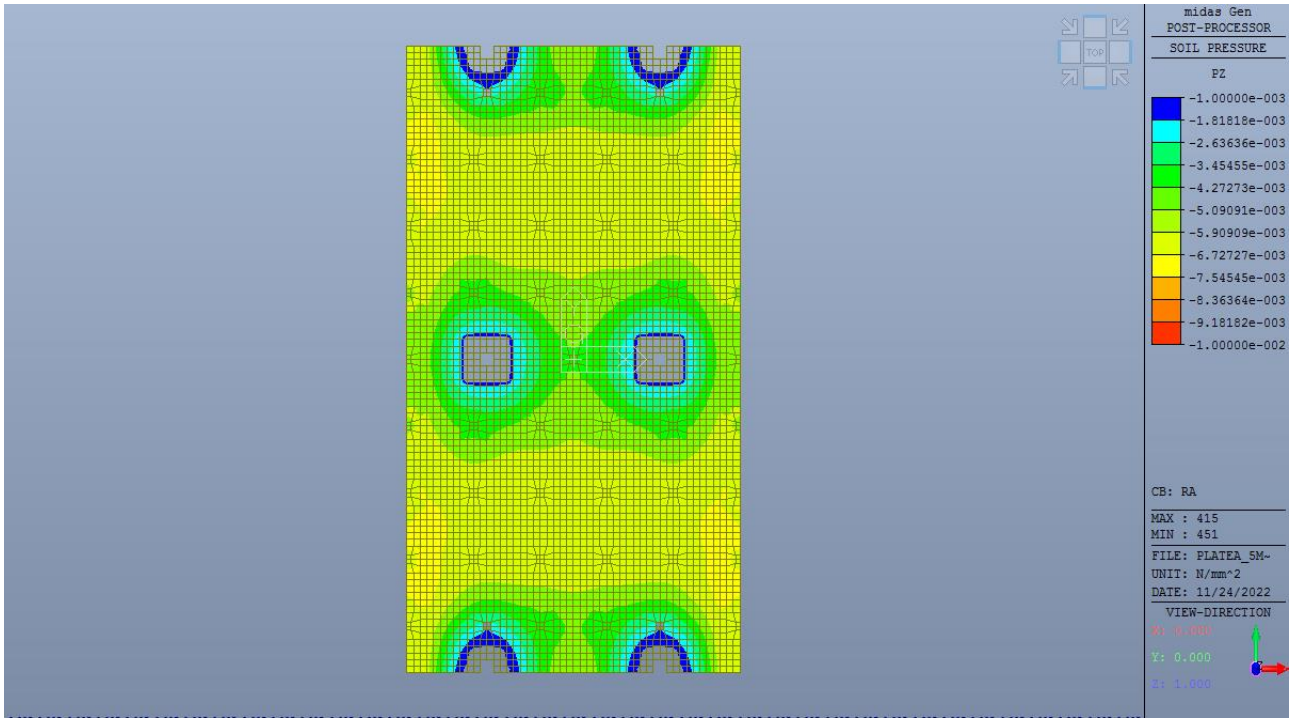


Figura 12 – Andamento delle pressioni sul terreno in combinazione SLE Rara

Si osserva che la massima pressione attesa è pari a:

PZ = 0.006MPa

Si fa presente, inoltre, che i valori negativi di pressione (compressione) caratterizzanti l'intera superficie della platea giustificano l'adozione delle molle elastiche bidirezionali di cui al Paragrafo 6.1.

7.3 Reazioni vincolari

La massima reazione di compressione attesa sui pali riduttori di cedimento, valutata nella combinazione ultima SLU già introdotta in precedenza, è compendiata nella seguente Figura 13:

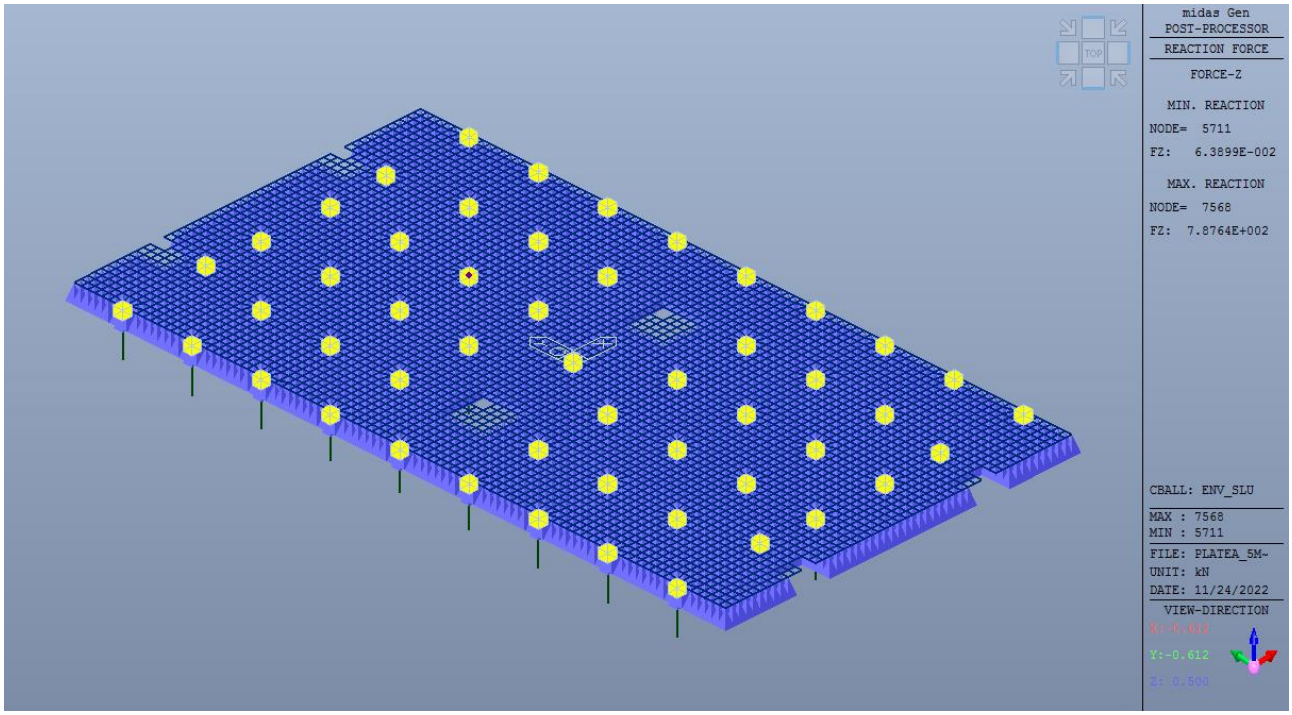


Figura 13 – Reazioni secondo l'asse globale Z sui pali riduttori di cedimento in combinazione SLU

Si osserva che la massima reazione verticale attesa è pari a:

FZ = 787.0kN

7.4 Sollecitazioni

Si riportano gli andamenti delle sollecitazioni di flessione e taglio valutate nella combinazione ultima SLU già intordotta in precedenza.

Con riferimento al sistema di riferimento locale degli elementi "plate" impiegati nella modellazione, i diagrammi successivi compendiano le sollecitazioni utilizzate nelle verifiche di resistenza di cui al successivo capitolo. Nell'immagine che seguente (Figura 14) è riportata la suddetta terna locale xyz (rosso-verde-blu) insieme alla terna globale OXYZ:

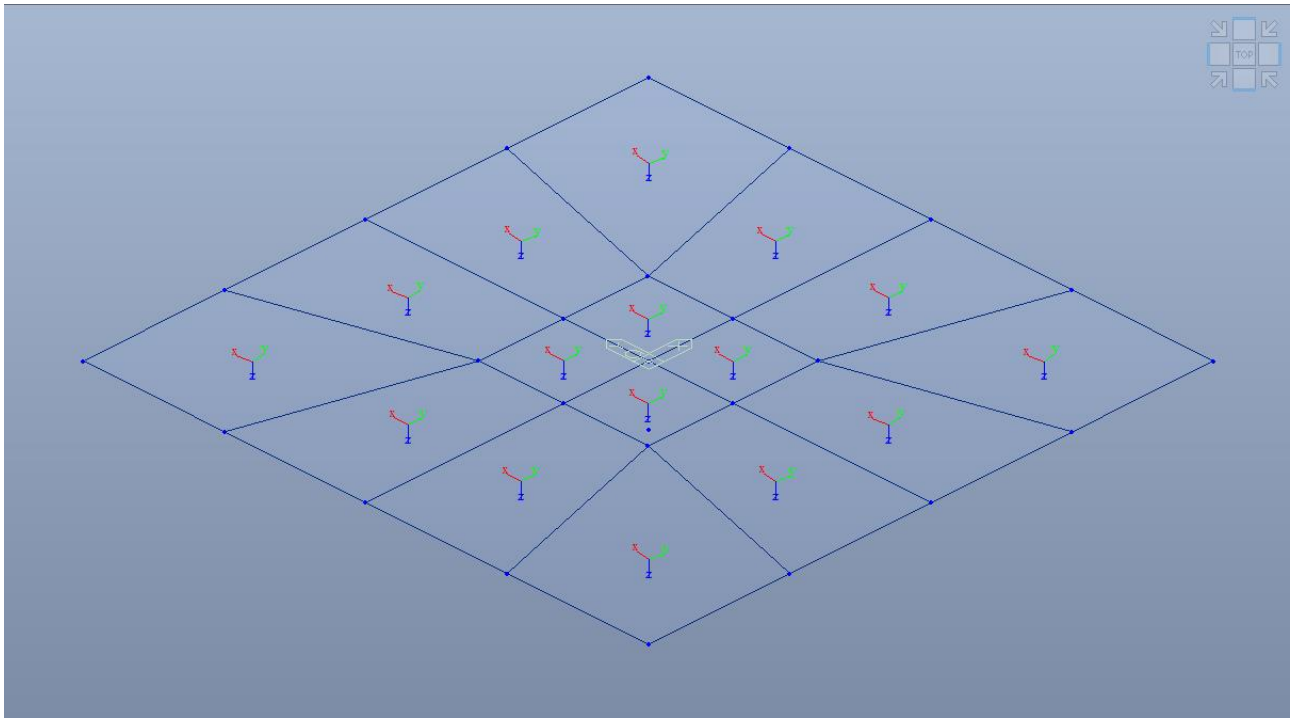


Figura 14 – Sistema di riferimento locale xyz per gli elementi "plate"

Si farà quindi riferimento alle componenti di sollecitazione significative così definite:

- M_{xx} = momento intorno all'asse locale y (asse verde)
- M_{yy} = momento intorno all'asse locale x (asse rosso)
- V_{xx} = taglio nel piano locale xz (assi rosso-blu)
- V_{yy} = taglio nel piano locale yz (assi verde-blu)

Per facilitarne la comprensione, si riportano i diagrammi limitati a un solo quadrante di platea sfruttando la doppia simmetria planimetrica del problema in esame. Con riferimento alla terna di riferimento globale OXYZ, con origine coincidente con l'intersezione degli assi di simmetria della platea, si considera, pertanto, il quadrante caratterizzato dai valori di X negativi e di Y positivi e delimitato sul suo lato sinistro (nelle successive immagini) dal giunto strutturale.

Seguono i rispettivi diagrammi:

Momento M_{xx}

Segue la rappresentazione dei momenti M_{xx} sopra definiti nella combinazione ultima SLU:

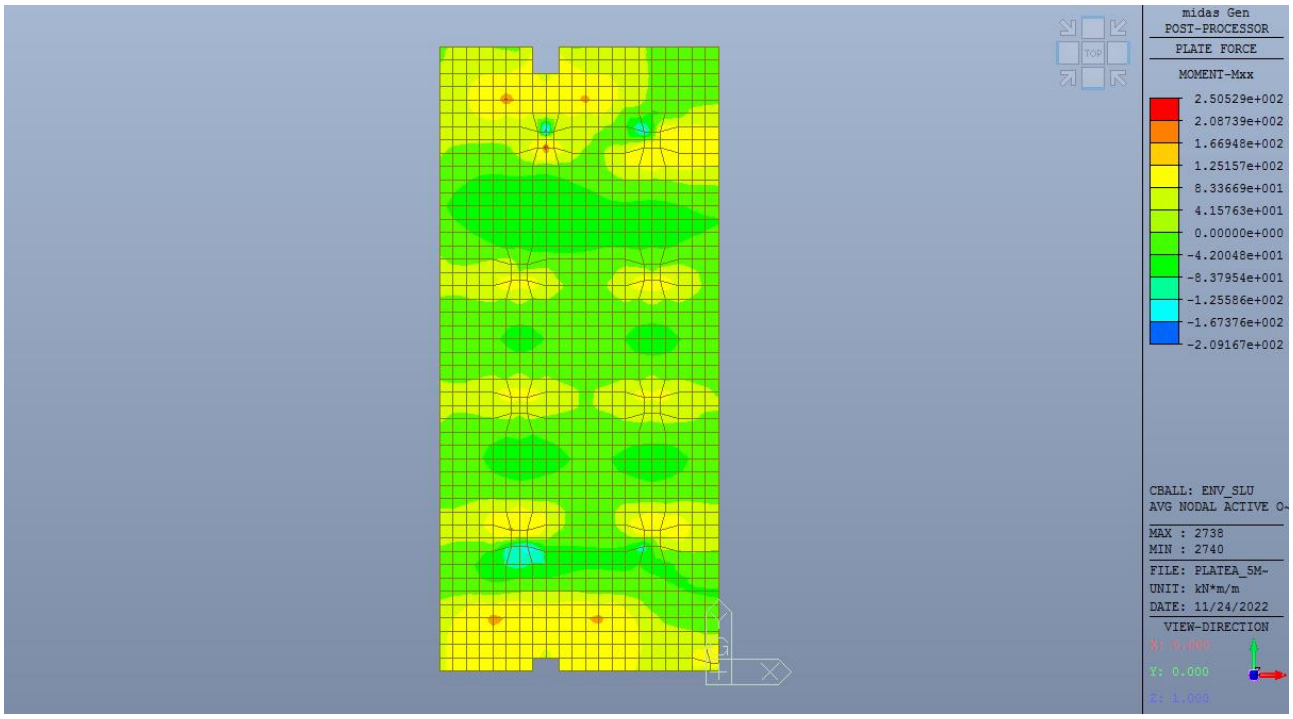


Figura 15 - Momenti M_{xx} in combinazione ultima SLU

Momento M_{yy}

Segue la rappresentazione dei momenti M_{yy} sopra definiti nella combinazione ultima SLU:

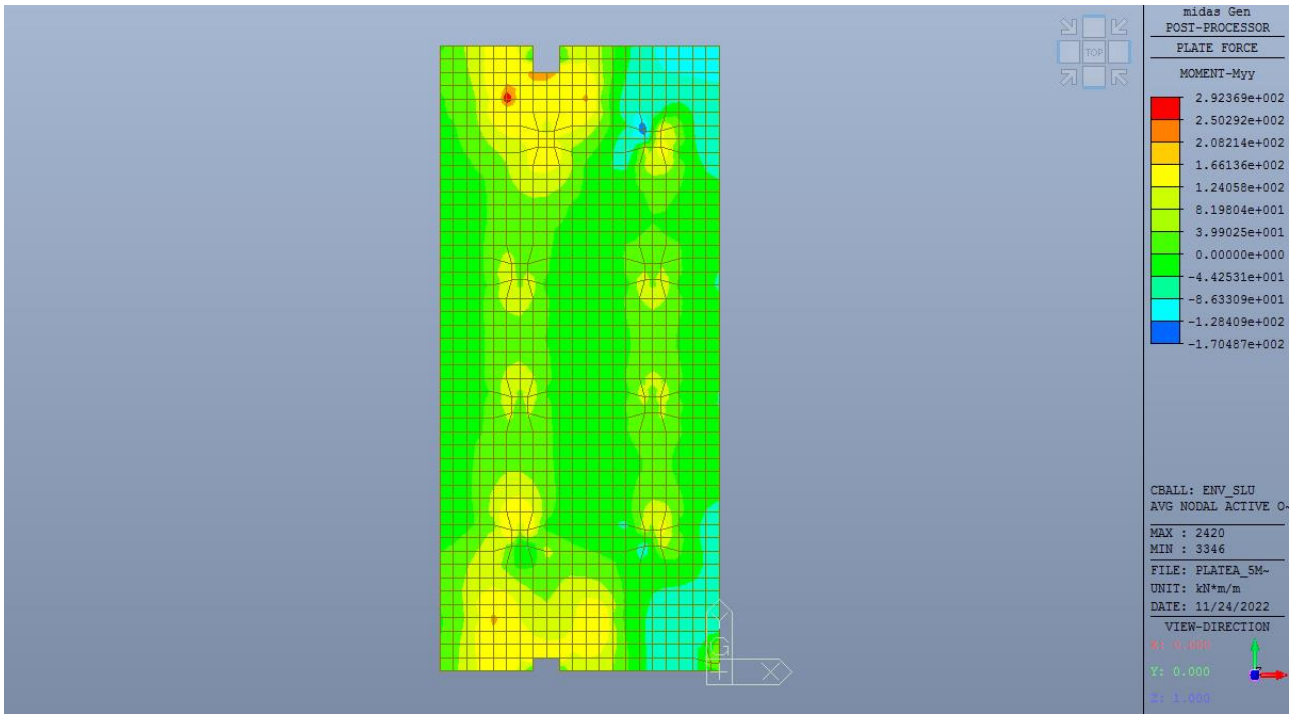


Figura 16 - Momenti M_{yy} in combinazione ultima SLU

Taglio V_{xx}

Segue la rappresentazione dei tagli V_{xx} sopra definiti nella combinazione ultima SLU:

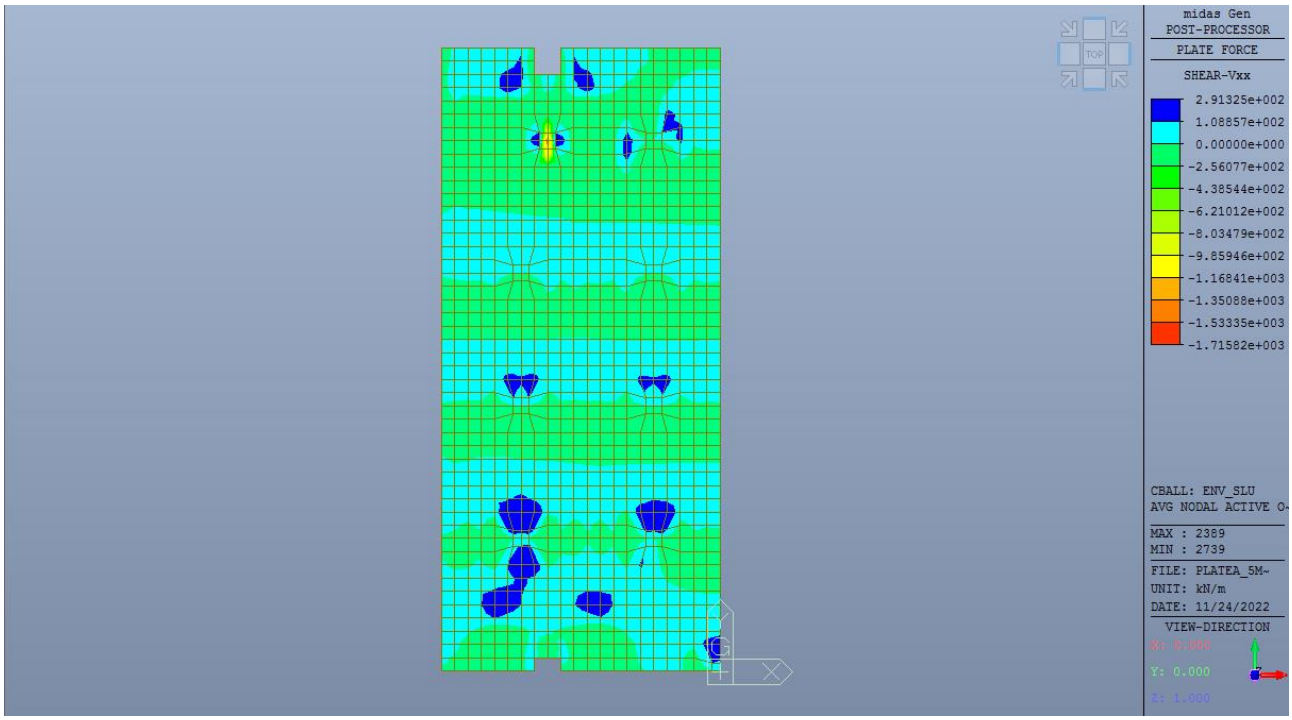


Figura 17 – Tagli V_{xx} in combinazione ultima SLU

Taglio V_{yy}

Segue la rappresentazione dei tagli V_{yy} sopra definiti nella combinazione ultima SLU:

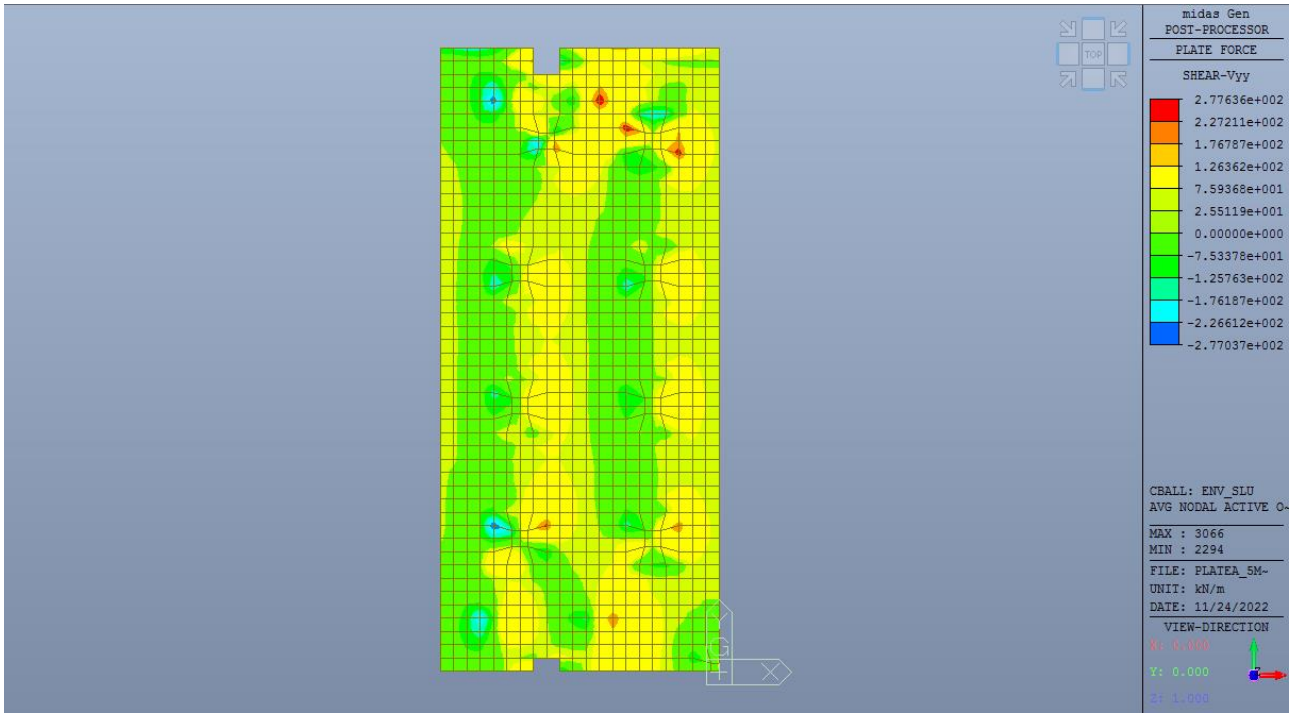


Figura 18 – Tagli V_{yy} in combinazione ultima SLU

8 VERIFICHE

Di seguito si riportano le verifiche delle sezioni significative per le combinazioni di carico più sfavorevoli. I calcoli di verifica sono effettuati con il metodo degli Stati Limite applicando le NTC2018 e la norma UNI EN 1992 (Eurocodice 2).

8.1 Verifiche allo stato limite ultimo

La verifica di resistenza nei confronti di sforzo normale e flessione si esegue controllando, in ottemperanza a quanto previsto nel paragrafo 4.1.2.3.4.2 NTC2018, che:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) > M_{Ed}$$

Dove:

N_{Ed} valore di progetto dello sforzo normale sollecitante;

M_{Rd} valore di progetto del momento resistente corrispondente a N_{Ed};

M_{Ed} valore di progetto del momento di domanda.

La verifica di resistenza nei confronti delle sollecitazioni taglianti si esegue controllando che:

$$V_{Rd} > V_{Ed}$$

Nella quale:

V_{Ed} valore di calcolo del taglio agente

V_{Rd} valore della resistenza a taglio.

Per quanto riguarda gli elementi senza armature trasversali resistenti a taglio la resistenza si calcola con l'espressione [4.1.23] NTC2018 mentre si considerano le espressioni [4.1.27] e [4.1.28] per gli elementi con armature trasversali resistenti al taglio.

8.2 Verifiche allo stato limite di esercizio

Stato limite di deformazione

I limiti di deformabilità devono essere congruenti con le prestazioni richieste alla struttura anche in relazione alla destinazione d'uso, con riferimento alle esigenze statiche, funzionali ed estetiche. I valori limite devono essere commisurati a specifiche esigenze e possono essere dedotti da documentazione tecnica di comprovata validità.

Stato limite di fessurazione

In generale, lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali (Tab. 4.1.III NTC2018) e della sensibilità delle armature alla corrosione (Tab. 4.1.IV NTC2018).

Tab. 4.1.III – *Descrizione delle condizioni ambientali*

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Figura 19 - Tab. 4.1.III NTC2018

Tab. 4.1.IV - *Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione*

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Figura 20 - Tab. 4.1.IV NTC2018

Nello specifico si considera il "Gruppo di Esigenza A", condizioni ambientali "*Ordinarie*" e armatura "*Poco sensibile*", il cui valore nominale del limite di apertura della fessura in combinazione frequente è pari a 0.4mm mentre in combinazione quasi permanente è pari a 0.3mm come definito nel paragrafo 4.1.2.2.4 delle NTC2018.

L'ampiezza caratteristica delle fessure w_k è calcolata come 1,7 volte il prodotto della deformazione media delle barre d'armatura ε_{sm} per la distanza media tra le fessure Δ_{sm}. Per il calcolo di ε_{sm} e Δ_{sm} si utilizzano criteri consolidati riportati in documenti di comprovata validità.

Riassumendo, valgono i seguenti limiti:

$$w_{k,frequente} <= w_3 = 0.4mm$$
$$w_{k,quasi\ permanente} <= w_2 = 0.3mm$$

Stato limite di limitazione delle tensioni

Valutate le azioni interne nelle varie parti della struttura, dovute alle combinazioni caratteristica e quasi permanente delle azioni, si calcolano le massime tensioni sia nel calcestruzzo sia nelle armature. In generale, si deve verificare che tali tensioni siano inferiori ai massimi valori consentiti di seguito riportati:

$$\sigma_{c,max} \leq 0.60\ f_{ck}\ \text{(per combinazione caratteristica)}$$

$$\sigma_{c,max} \leq 0.45\ f_{ck}\ \text{(per combinazione quasi permanente)}$$

Per l'acciaio di armatura, invece, la tensione massima deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_{s,max} \leq 0.80\ f_{yk}\ \text{(per combinazione caratteristica)}$$

8.3 Flessione per momenti M_{xx} positivi

La sezione di base unitaria e altezza costante di 40cm è armata in ragione di:

- 1d16/20 + 1d12/20 sup. (tesi)
- 1d16/20 inf. (compressi)

La massima sollecitazione di calcolo mediata sulla striscia di un metro di platea nella direzione considerata, in accordo con la Figura 21, vale:

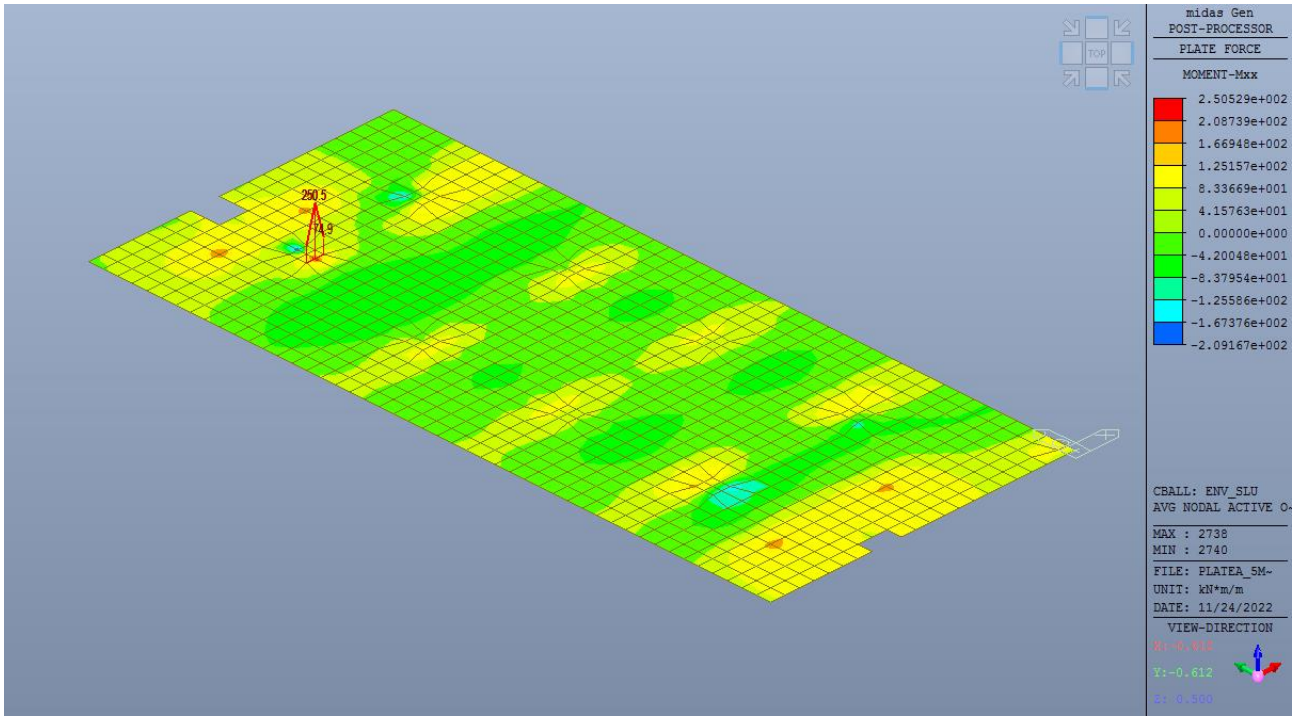
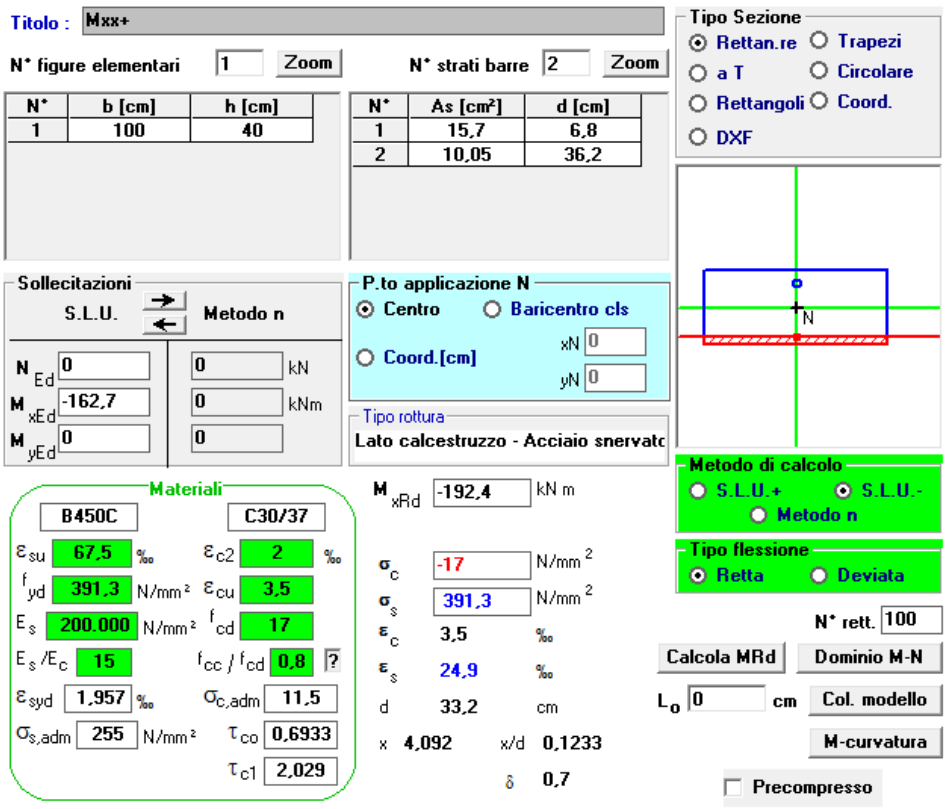


Figura 21 - Momento M_{xx+} di verifica

$M_{xx,Ed}$ = 162.7kNm/m

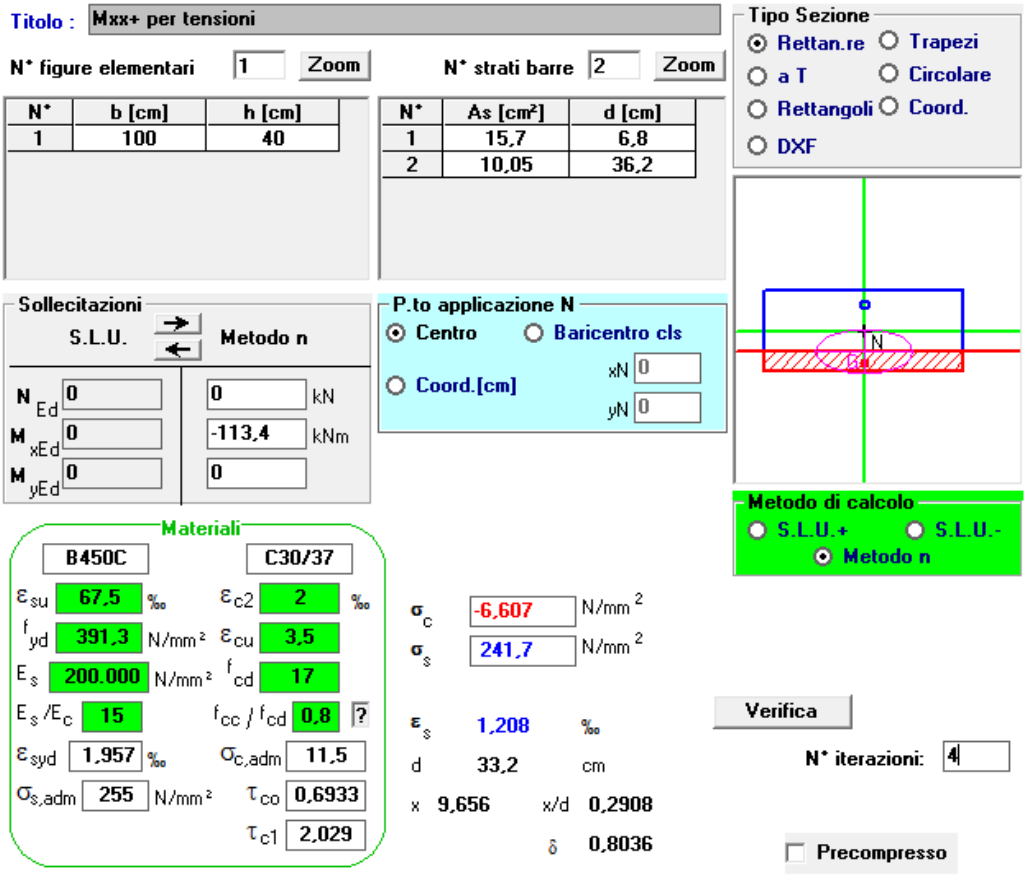
Segue output di verifica di resistenza:



Si verifica in valore assoluto che:

$$M_{Rd} = 192.4kNm > 162.7kNm/m$$

La verifica di resistenza è soddisfatta.



Si verifica cautelativamente la sola condizione SLE Rara nei seguenti limiti più restrittivi:

$$\sigma c = 6.61MPa < 13.82MPa$$
$$\sigma s = 241.70MPa < 360.0MPa$$

La verifica alle tensioni è soddisfatta.

Titolo : Mxx+ per fessurazione FR

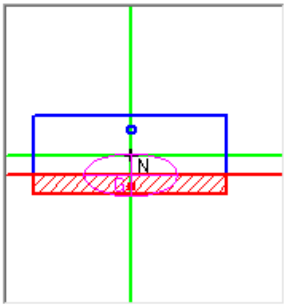
N° figure elementari 1 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N° strati barre 2 Zoom

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15,7	6,8
2	10,05	36,2

Tipo Sezione
- (•) Rettan.re ( ) Trapezi
- ( ) a T ( ) Circolare
- ( ) Rettangoli ( ) Coord.
- ( ) DXF



Sollecitazioni
S.L.U. → ← Metodo n

N_{Ed}	0	0 kN
M_{xEd}	0	-105,7 kNm
M_{yEd}	0	0

P.to applicazione N
- (•) Centro ( ) Baricentro cls
- ( ) Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo
- ( ) S.L.U.+ ( ) S.L.U.-
- (•) Metodo n

Materiali

B450C		C30/37	
ε_{su}	67,5 ‰	ε_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391,3 N/mm²	ε_{cu}	3,5
E_s	200.000 N/mm²	f_{cd}	17
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0,8 ?
ε_{syd}	1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	11,5
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	τ_{co}	0,6933
		τ_{c1}	2,029

σ_c	-6,159 N/mm²		
σ_s	225,3 N/mm²		
ε_s	1,126 ‰		
d	33,2 cm		
x	9,656	x/d	0,2908
		δ	0,8036

Verifica

N° iterazioni: 4

☐ Precompresso

Geometria della sezione			
Altezza della sezione	h	400	[mm]
Larghezza della sezione	b	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	332	[mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d'	38	[mm]
Ricoprimento dell'armatura	c	60	[mm]
Armatura tesa ordinaria			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.1}$	7.81	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.1}$	16	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.1}$	1570	[mm^2]
Armatura tesa di infittimento			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.2}$	0	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.2}$	0	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.2}$	0	[mm^2]

Caratteristiche dei materiali			
Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck}	37	[MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm}	3.3	[MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	34545	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s	210000	[MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE			
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	225.3	[MPa]
Asse neutro della sezione	x	96.56	[mm]
Tipo e durata dei carichi applicati		Breve	
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e	6.08	[-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s	1570	[mm^2]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff.1}$	170000	[mm^2]
	$A_{c,eff.2}$	101147	[mm^2]
	$A_{c,eff.3}$	200000	[mm^2]
	$A_{c,eff.min}$	101147	[mm^2]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0.01552	[-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	3.3	[MPa]
Fattore di durata del carico	k_t	0.6	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{min}$	0.000644	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{calc.}$	0.000402	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]$	**0.000644**	**[-]**
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	200	[mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq}	16.00	[mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	340	[mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1	0.800	[-]
	k_2	0.500	[-]
	k_3	3.400	[-]
	k_4	0.425	[-]
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max.1}$	379	[mm]
	$s_{r,max.2}$	394	[mm]
	$s_{r,max}$	**379**	**[mm]**
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k.lim}$	0.40	[mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	**w_k**	**0.24**	**[mm]**

Si verifica che:

$$w_k = 0.24\text{mm} < 0.40\text{mm}$$

La verifica a fessurazione in ambiente ordinario è soddisfatta.

Titolo : Mxx+ per fessurazione QP

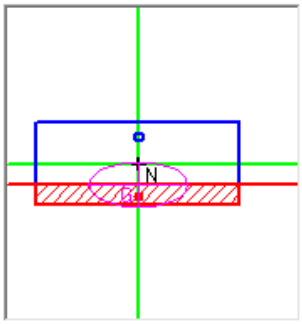
N° figure elementari 1 Zoom

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15,7	6,8
2	10,05	36,2

Tipo Sezione
- (•) Rettan.re ( ) Trapezi
- ( ) a T ( ) Circolare
- ( ) Rettangoli ( ) Coord.
- ( ) DXF



Sollecitazioni
S.L.U. → ← Metodo n

N_{Ed}	0	0	kN
M_{xEd}	0	-98	kNm
M_{yEd}	0	0	

P.to applicazione N
- (•) Centro ( ) Baricentro cls
- ( ) Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo
- ( ) S.L.U.+ ( ) S.L.U.-
- (•) Metodo n

Materiali

B450C			C30/37	
ε_{su}	67,5	‰	ε_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391,3	N/mm²	ε_{cu}	3,5
E_s	200.000	N/mm²	f_{cd}	17
E_s/E_c	15		f_{cc}/f_{cd}	0,8 ?
ε_{syd}	1,957	‰	$\sigma_{c,adm}$	11,5
$\sigma_{s,adm}$	255	N/mm²	τ_{co}	0,6933
			τ_{c1}	2,029

σ_c	-5,71	N/mm²
σ_s	208,8	N/mm²
ε_s	1,044	‰
d	33,2	cm
x	9,656	x/d 0,2908
		δ 0,8036

Verifica

N° iterazioni: 4

☐ Precompresso

Geometria della sezione			
Altezza della sezione	h	400	[mm]
Larghezza della sezione	b	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	332	[mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d'	38	[mm]
Ricoprimento dell'armatura	c	60	[mm]
Armatura tesa ordinaria			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.1}$	7.81	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.1}$	16	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.1}$	1570	[mm^2]
Armatura tesa di infittimento			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.2}$	0	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.2}$	0	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.2}$	0	[mm^2]

Caratteristiche dei materiali			
Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck}	37	[MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm}	3.3	[MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	34545	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s	210000	[MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE			
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	208.8	[MPa]
Asse neutro della sezione	x	96.56	[mm]
Tipo e durata dei carichi applicati		Breve	
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e	6.08	[-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s	1570	[mm^2]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff.1}$	170000	[mm^2]
	$A_{c,eff.2}$	101147	[mm^2]
	$A_{c,eff.3}$	200000	[mm^2]
	$A_{c,eff.min}$	101147	[mm^2]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0.01552	[-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	3.3	[MPa]
Fattore di durata del carico	k_t	0.6	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{min}$	0.000597	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{calc.}$	0.000323	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]$	**0.000597**	**[-]**
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	200	[mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq}	16.00	[mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	340	[mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1	0.800	[-]
	k_2	0.500	[-]
	k_3	3.400	[-]
	k_4	0.425	[-]
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max.1}$	379	[mm]
	$s_{r,max.2}$	394	[mm]
	$s_{r,max}$	**379**	**[mm]**
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k.lim}$	0.30	[mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	**w_k**	**0.23**	**[mm]**

Si verifica che:

$$w_k = 0.23mm < 0.30mm$$

La verifica a fessurazione in ambiente ordinario è soddisfatta.

8.4 Flessione per momenti M_{xx} negativi

La sezione di base unitaria e altezza costante di 40cm è armata in ragione di:

- 1d16/20 sup. (compressi)
- 1d16/20 inf. (tesi)

La massima sollecitazione di calcolo mediata sulla striscia di un metro di platea nella direzione considerata, in accordo con la Figura 22, vale:

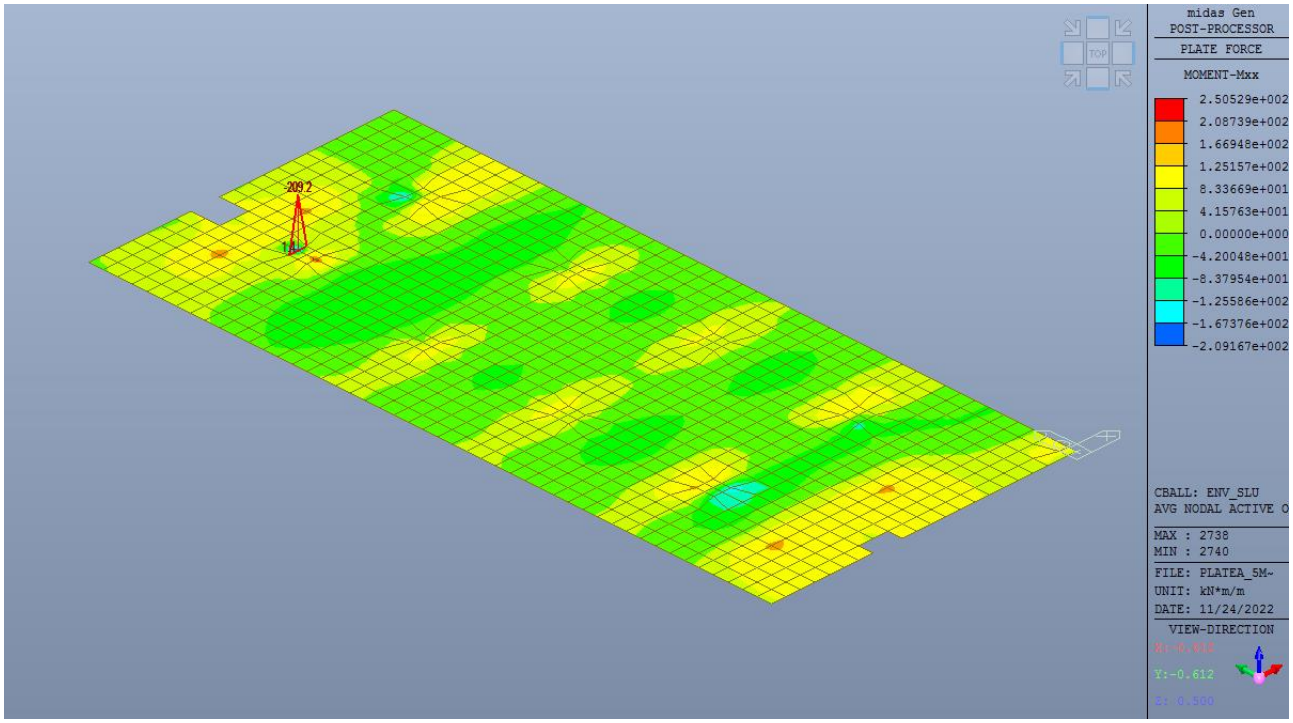
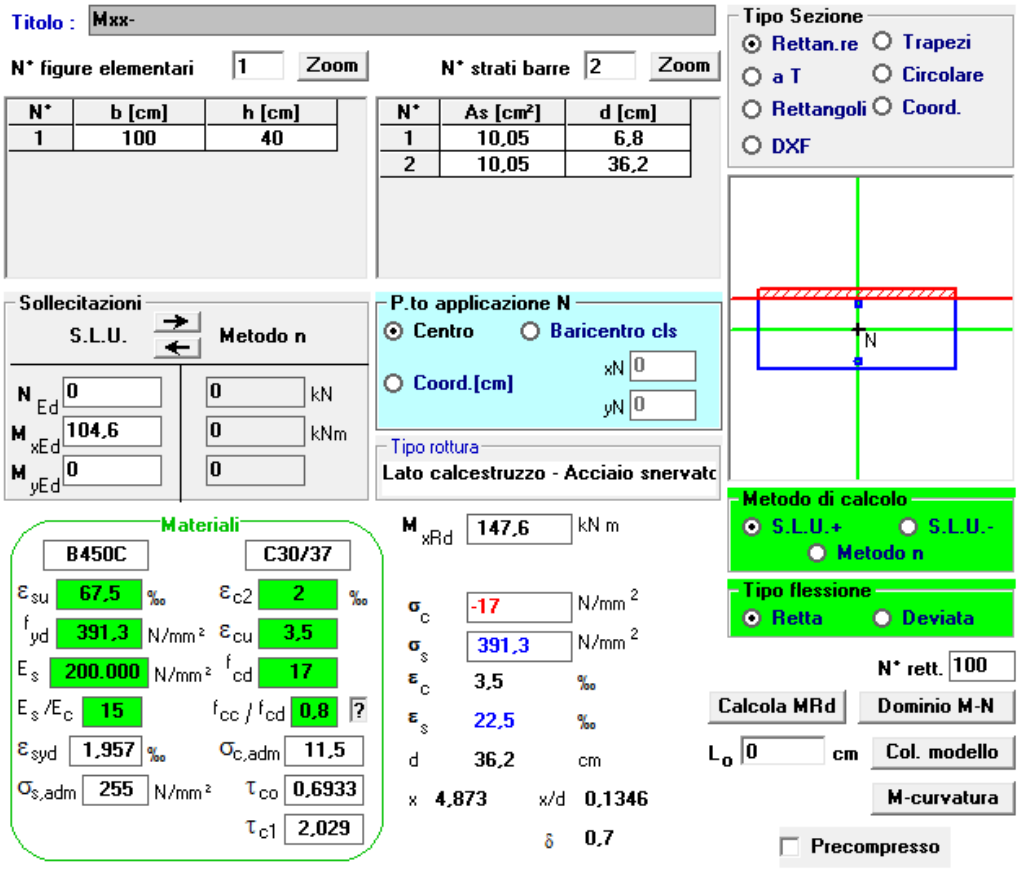


Figura 22 - Momento M_{xx} di verifica

$M_{xx,Ed}$ = 104.6kNm/m

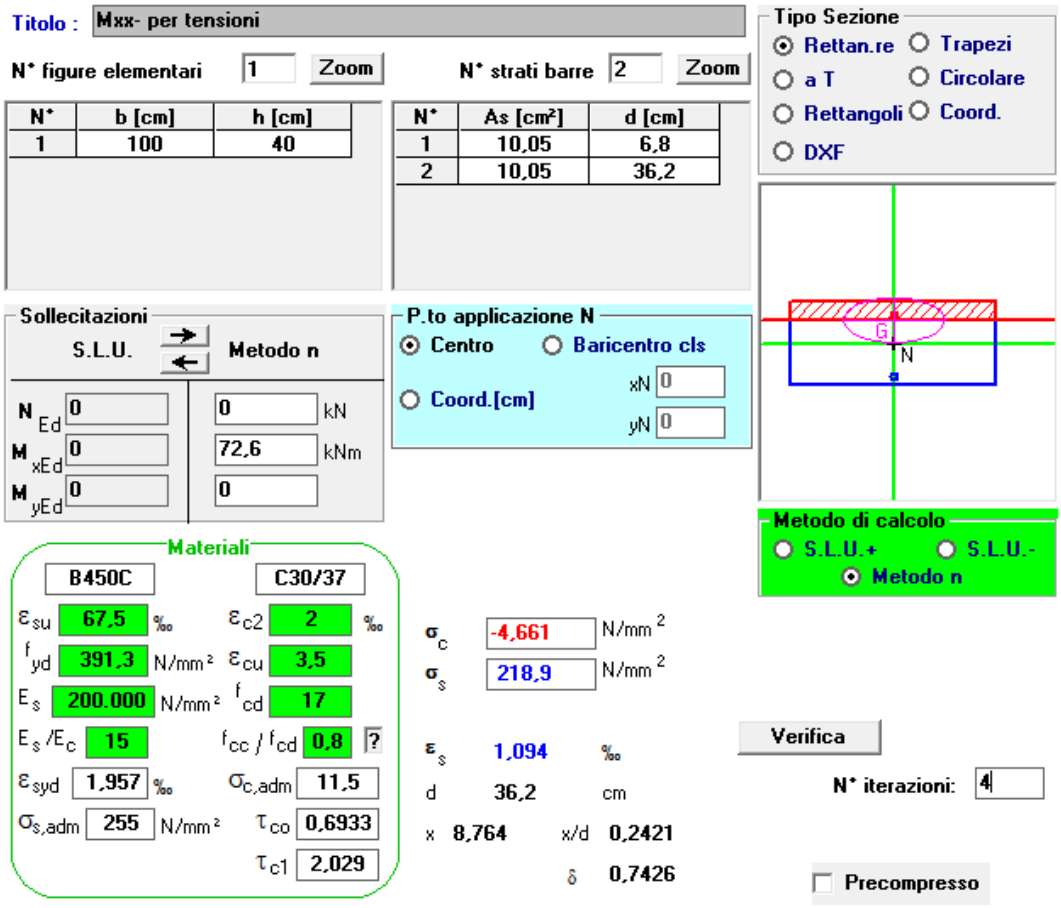
Segue output di verifica di resistenza:



Si verifica che:

M_{Rd} = 147.6kNm > 104.6kNm/m

La verifica di resistenza è soddisfatta.



Si verifica cautelativamente la sola condizione SLE Rara nei seguenti limiti più restrittivi:

σc = 4.66MPa < 13.82MPa
σs = 218.90MPa < 360.0MPa

La verifica alle tensioni è soddisfatta.

Titolo : Mxx- per fessurazione FR

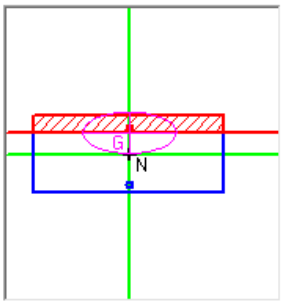
N° figure elementari 1 Zoom

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10,05	6,8
2	10,05	36,2

Tipo Sezione
- Rettan.re
- Trapezi
- a T
- Circolare
- Rettangoli
- Coord.
- DXF



Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed}	0	0	kN
M_{xEd}	0	67,4	kNm
M_{yEd}	0	0	

P.to applicazione N
- Centro
- Baricentro cls
- Coord.[cm]

xN 0
yN 0

Metodo di calcolo
- S.L.U.+
- S.L.U.-
- Metodo n

Materiali

B450C		C30/37	
ε_{su}	67,5 ‰	ε_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391,3 N/mm²	ε_{cu}	3,5
E_s	200.000 N/mm²	f_{cd}	17
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0,8 ?
ε_{syd}	1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	11,5
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	τ_{co}	0,6933
		τ_{c1}	2,029

σ_c	-4,327 N/mm²		
σ_s	203,2 N/mm²		
ε_s	1,016 ‰		
d	36,2 cm		
x	8,764	x/d	0,2421
		δ	0,7426

Verifica

N° iterazioni: 4

Precompresso

Geometria della sezione			
Altezza della sezione	h	400	[mm]
Larghezza della sezione	b	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	332	[mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d'	38	[mm]
Ricoprimento dell'armatura	c	60	[mm]
Armatura tesa ordinaria			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.1}$	5	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.1}$	16	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.1}$	1005	[mm^2]
Armatura tesa di infittimento			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.2}$	0	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.2}$	0	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.2}$	0	[mm^2]

Caratteristiche dei materiali			
Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck}	37	[MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm}	3.3	[MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	34545	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s	210000	[MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE			
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	203.2	[MPa]
Asse neutro della sezione	x	87.64	[mm]
Tipo e durata dei carichi applicati		Breve	
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e	6.08	[-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s	1005	[mm^2]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff.1}$	170000	[mm^2]
	$A_{c,eff.2}$	104120	[mm^2]
	$A_{c,eff.3}$	200000	[mm^2]
	$A_{c,eff.min}$	104120	[mm^2]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0.00966	[-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	3.3	[MPa]
Fattore di durata del carico	k_t	0.6	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{min}$	0.000581	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{calc.}$	-0.000076	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]$	**0.000581**	**[-]**
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	200	[mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq}	16.00	[mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	340	[mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1	0.800	[-]
	k_2	0.500	[-]
	k_3	3.400	[-]
	k_4	0.425	[-]
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max.1}$	486	[mm]
	$s_{r,max.2}$	406	[mm]
	$s_{r,max}$	**486**	**[mm]**
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k.lim}$	0.40	[mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	**w_k**	**0.28**	**[mm]**

Si verifica che:

$$w_k = 0.28mm < 0.40mm$$

La verifica a fessurazione in ambiente ordinario è soddisfatta.

Titolo : Mxx- per fessurazione QP

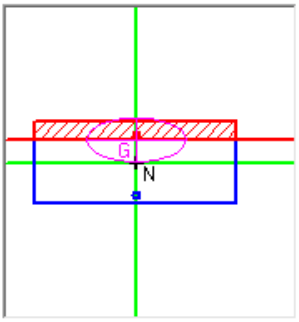
N° figure elementari 1 Zoom

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10,05	6,8
2	10,05	36,2

Tipo Sezione
- (•) Rettan.re ( ) Trapezi
- ( ) a T ( ) Circolare
- ( ) Rettangoli ( ) Coord.
- ( ) DXF



Sollecitazioni — S.L.U. → ← Metodo n

N_{Ed}	0	0	kN
M_{xEd}	0	62,3	kNm
M_{yEd}	0	0	

P.to applicazione N
- (•) Centro ( ) Baricentro cls
- ( ) Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo
- ( ) S.L.U.+ ( ) S.L.U.-
- (•) Metodo n

Materiali

B450C			C30/37	
ε_{su}	67,5	‰	ε_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391,3	N/mm²	ε_{cu}	3,5
E_s	200.000	N/mm²	f_{cd}	17
E_s/E_c	15		f_{cc}/f_{cd}	0,8 ?
ε_{syd}	1,957	‰	$\sigma_{c,adm}$	11,5
$\sigma_{s,adm}$	255	N/mm²	τ_{co}	0,6933
			τ_{c1}	2,029

σ_c	-4	N/mm²
σ_s	187,8	N/mm²
ε_s	0,9392	‰
d	36,2	cm
x	8,764	x/d 0,2421
		δ 0,7426

Verifica

N° iterazioni: 4

☐ Precompresso

Geometria della sezione			
Altezza della sezione	h	400	[mm]
Larghezza della sezione	b	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	332	[mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d'	38	[mm]
Ricoprimento dell'armatura	c	60	[mm]
Armatura tesa ordinaria			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.1}$	5	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.1}$	16	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.1}$	1005	[mm^2]
Armatura tesa di infittimento			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.2}$	0	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.2}$	0	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.2}$	0	[mm^2]

Caratteristiche dei materiali			
Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck}	37	[MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm}	3.3	[MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	34545	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s	210000	[MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE			
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	187.8	[MPa]
Asse neutro della sezione	x	87.64	[mm]
Tipo e durata dei carichi applicati		Breve	
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e	6.08	[-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s	1005	[mm^2]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff.1}$	170000	[mm^2]
	$A_{c,eff.2}$	104120	[mm^2]
	$A_{c,eff.3}$	200000	[mm^2]
	$A_{c,eff.min}$	104120	[mm^2]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0.00966	[-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	3.3	[MPa]
Fattore di durata del carico	k_t	0.6	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{min}$	0.000537	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{calc.}$	-0.000149	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]$	**0.000537**	**[-]**
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	200	[mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq}	16.00	[mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	340	[mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1	0.800	[-]
	k_2	0.500	[-]
	k_3	3.400	[-]
	k_4	0.425	[-]
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max.1}$	486	[mm]
	$s_{r,max.2}$	406	[mm]
	$s_{r,max}$	**486**	**[mm]**
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k.lim}$	0.30	[mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	**w_k**	**0.26**	**[mm]**

Si verifica che:

$$w_k = 0.26mm < 0.30mm$$

La verifica a fessurazione in ambiente ordinario è soddisfatta.

8.5 Flessione per momenti M_{yy} positivi

La sezione di base unitaria e altezza costante di 40cm è armata in ragione di:

- 1d16/20 + 1d16/20 sup. (tesi)
- 1d16/20 inf. (compressi)

La massima sollecitazione di calcolo mediata sulla striscia di un metro di platea nella direzione considerata, in accordo con la Figura 23, vale:

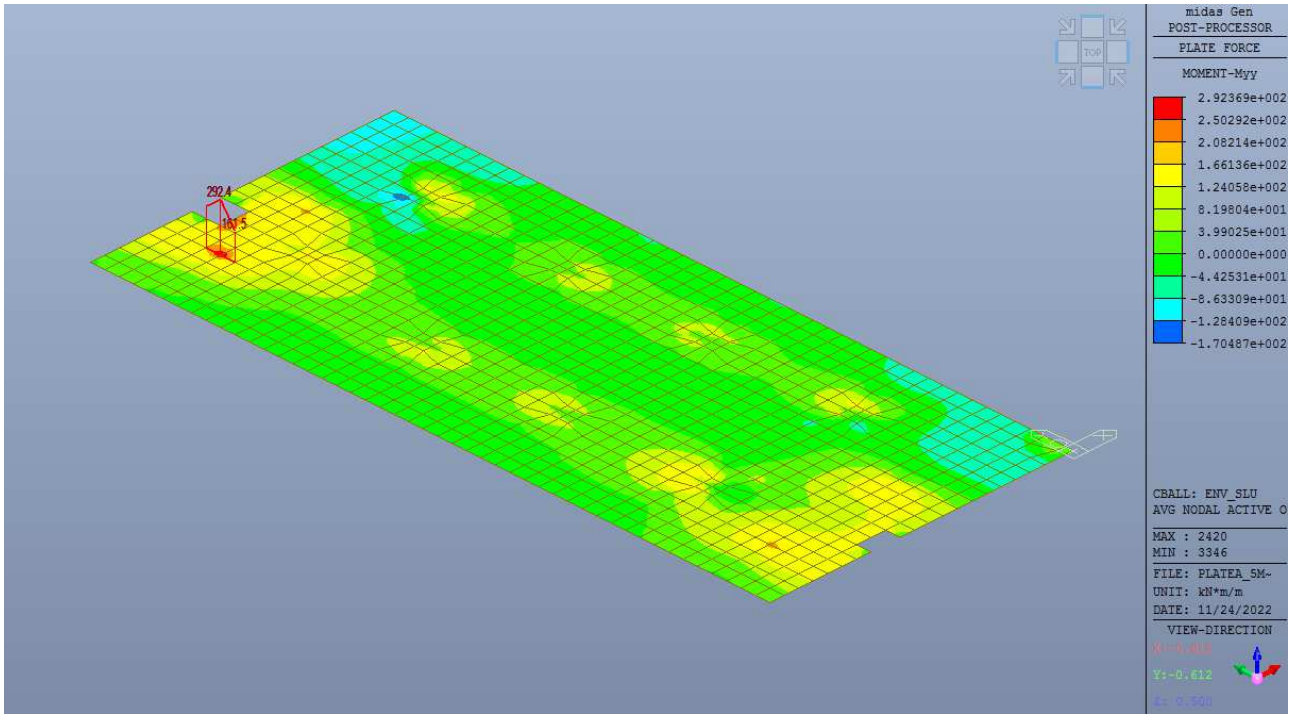
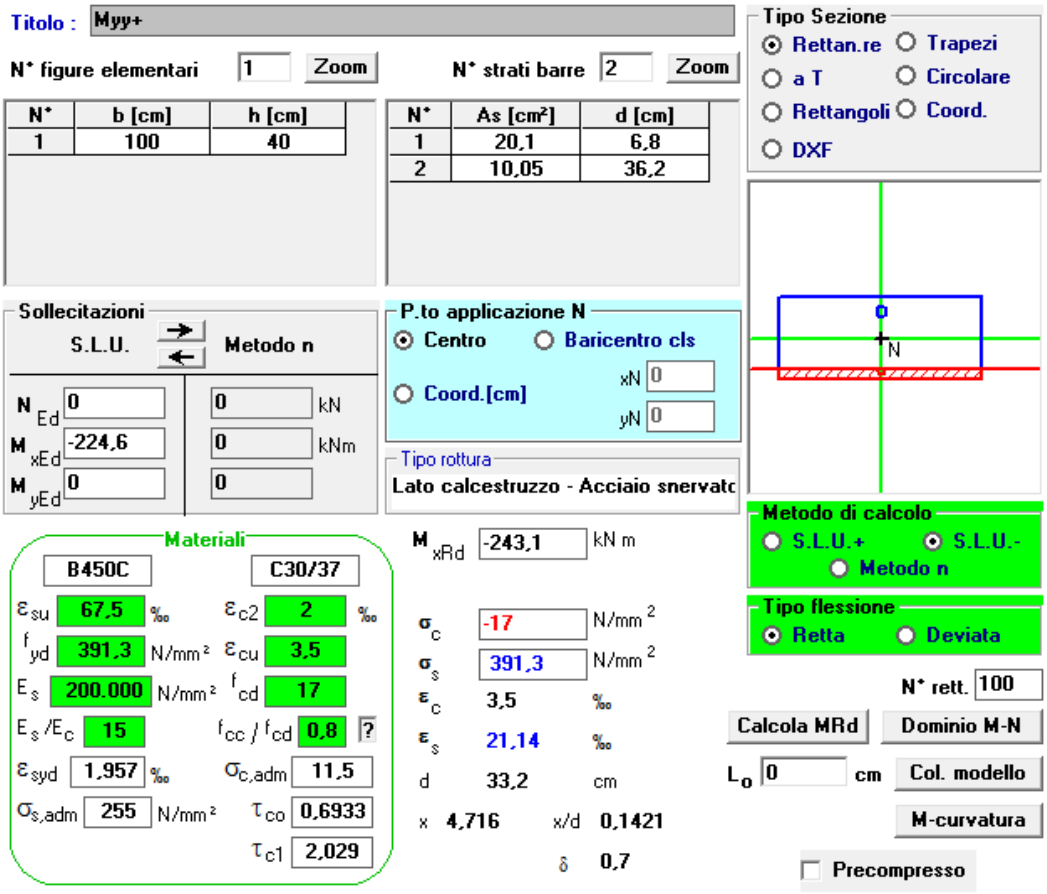


Figura 23 - Momento M_{yy+} di verifica

$M_{yy,Ed}$ = 224.6kNm/m

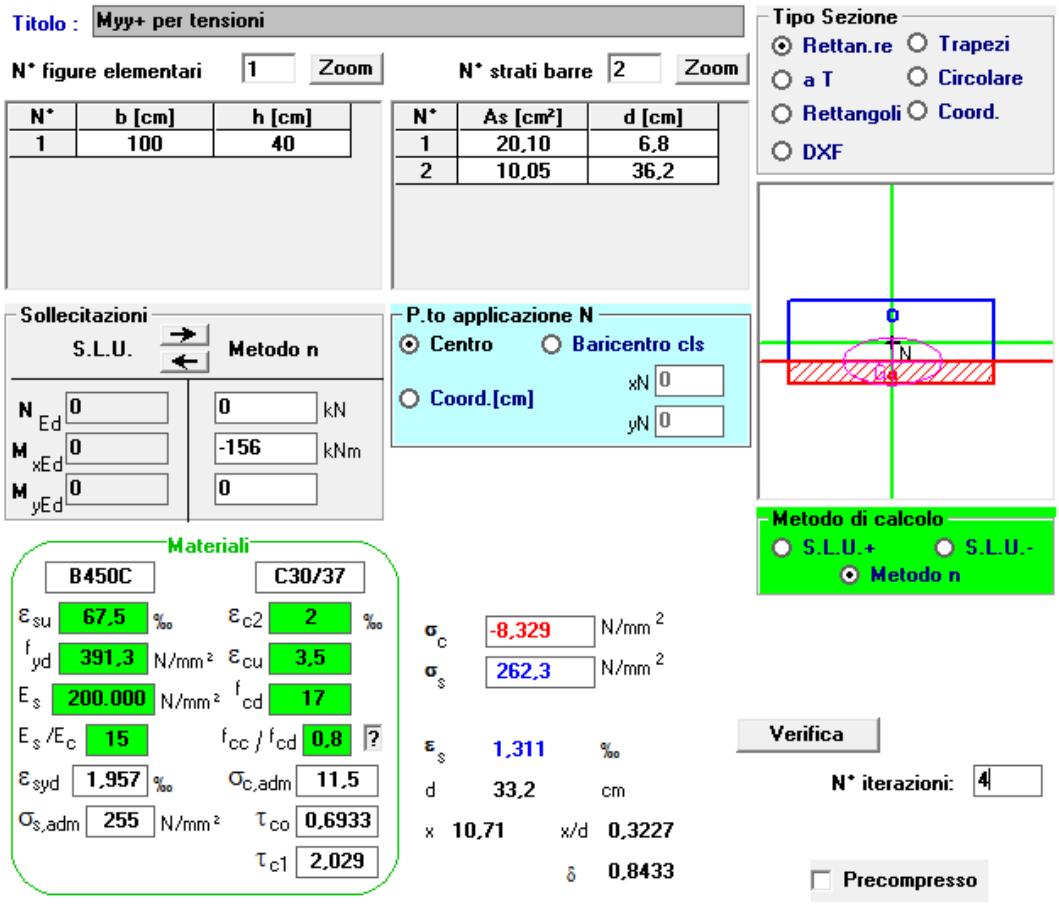
Segue output di verifica di resistenza:



Si verifica che:

$$M_{Rd} = 243.1kNm > 224.6kNm/m$$

La verifica di resistenza è soddisfatta.



Si verifica cautelativamente la sola condizione SLE Rara nei seguenti limiti più restrittivi:

σc = 8.33MPa < 13.82MPa
σs = 262.30MPa < 360.0MPa

La verifica alle tensioni è soddisfatta.

Titolo : Myy+ per fessurazione FR

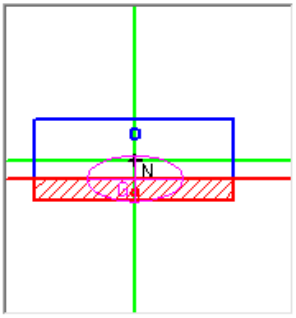
N° figure elementari 1 Zoom

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	20,10	6,8
2	10,05	36,2

Tipo Sezione
- Rettan.re
- Trapezi
- a T
- Circolare
- Rettangoli
- Coord.
- DXF



Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed}	0	0 kN
M_{xEd}	0	-145,9 kNm
M_{yEd}	0	0

P.to applicazione N
- Centro
- Baricentro cls
- Coord.[cm]

xN 0
yN 0

Metodo di calcolo
- S.L.U.+
- S.L.U.-
- Metodo n

Materiali

B450C		C30/37	
ε_{su}	67,5 ‰	ε_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391,3 N/mm²	ε_{cu}	3,5
E_s	200.000 N/mm²	f_{cd}	17
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0,8 ?
ε_{syd}	1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	11,5
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	τ_{co}	0,6933
		τ_{c1}	2,029

σ_c	-7,79	N/mm²
σ_s	245,3	N/mm²
ε_s	1,226	‰
d	33,2	cm
x	10,71	x/d 0,3227
		δ 0,8433

Verifica

N° iterazioni: 4

Precompresso

Geometria della sezione			
Altezza della sezione	h	400	[mm]
Larghezza della sezione	b	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	332	[mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d'	38	[mm]
Ricoprimento dell'armatura	c	60	[mm]
Armatura tesa ordinaria			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.1}$	10	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.1}$	16	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.1}$	2011	[mm^2]
Armatura tesa di infittimento			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.2}$	0	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.2}$	0	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.2}$	0	[mm^2]

Caratteristiche dei materiali			
Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck}	37	[MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm}	3.3	[MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	34545	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s	210000	[MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE			
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	245.3	[MPa]
Asse neutro della sezione	x	107.1	[mm]
Tipo e durata dei carichi applicati		Breve	
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e	6.08	[-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s	2011	[mm^2]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff.1}$	170000	[mm^2]
	$A_{c,eff.2}$	97633	[mm^2]
	$A_{c,eff.3}$	200000	[mm^2]
	$A_{c,eff.min}$	97633	[mm^2]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0.02059	[-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	3.3	[MPa]
Fattore di durata del carico	k_t	0.6	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{min}$	0.000701	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{calc.}$	0.000648	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]$	**0.000701**	**[-]**
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	200	[mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq}	16.00	[mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	340	[mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1	0.800	[-]
	k_2	0.500	[-]
	k_3	3.400	[-]
	k_4	0.425	[-]
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max.1}$	336	[mm]
	$s_{r,max.2}$	381	[mm]
	$s_{r,max}$	**336**	**[mm]**
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k.lim}$	0.40	[mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	**w_k**	**0.24**	**[mm]**

Si verifica che:

w_k = 0.24mm < 0.40mm

La verifica a fessurazione in ambiente ordinario è soddisfatta.

Titolo : Myy+ per fessurazione QP

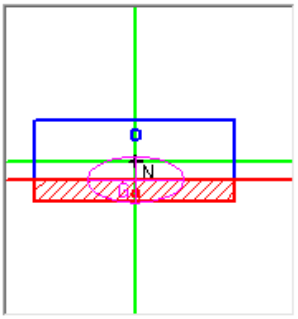
N° figure elementari 1 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N° strati barre 2 Zoom

N°	As [cm²]	d [cm]
1	20,10	6,8
2	10,05	36,2

Tipo Sezione
- (•) Rettan.re ( ) Trapezi
- ( ) a T ( ) Circolare
- ( ) Rettangoli ( ) Coord.
- ( ) DXF



Sollecitazioni
S.L.U. → ← Metodo n

N_{Ed}	0	0 kN
M_{xEd}	0	-135,4 kNm
M_{yEd}	0	0

P.to applicazione N
- (•) Centro ( ) Baricentro cls
- ( ) Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo
- ( ) S.L.U.+ ( ) S.L.U.-
- (•) Metodo n

Materiali

B450C			C30/37	
ε_{su}	67,5 ‰	ε_{c2}	2	‰
f_{yd}	391,3 N/mm²	ε_{cu}	3,5	
E_s	200.000 N/mm²	f_{cd}	17	
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0,8	?
ε_{syd}	1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	11,5	
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	τ_{co}	0,6933	
		τ_{c1}	2,029	

σ_c	-7,229	N/mm²
σ_s	227,6	N/mm²
ε_s	1,138	‰
d	33,2	cm
x	10,71	x/d 0,3227
		δ 0,8433

Verifica

N° iterazioni: 4

☐ Precompresso

Geometria della sezione			
Altezza della sezione	h	400	[mm]
Larghezza della sezione	b	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	332	[mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d'	38	[mm]
Ricoprimento dell'armatura	c	60	[mm]
Armatura tesa ordinaria			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.1}$	10	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.1}$	16	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.1}$	2011	[mm^2]
Armatura tesa di infittimento			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.2}$	0	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.2}$	0	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.2}$	0	[mm^2]

Caratteristiche dei materiali			
Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck}	37	[MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm}	3.3	[MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	34545	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s	210000	[MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE			
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	227.6	[MPa]
Asse neutro della sezione	x	107.1	[mm]
Tipo e durata dei carichi applicati		Breve	
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e	6.08	[-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s	2011	[mm^2]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff.1}$	170000	[mm^2]
	$A_{c,eff.2}$	97633	[mm^2]
	$A_{c,eff.3}$	200000	[mm^2]
	$A_{c,eff.min}$	97633	[mm^2]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0.02059	[-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	3.3	[MPa]
Fattore di durata del carico	k_t	0.6	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{min}$	0.000650	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{calc.}$	0.000564	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]$	**0.000650**	**[-]**
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	200	[mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq}	16.00	[mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	340	[mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1	0.800	[-]
	k_2	0.500	[-]
	k_3	3.400	[-]
	k_4	0.425	[-]
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max.1}$	336	[mm]
	$s_{r,max.2}$	381	[mm]
	$s_{r,max}$	**336**	**[mm]**
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k.lim}$	0.30	[mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	**w_k**	**0.22**	**[mm]**

Si verifica che:

$$w_k = 0.22\text{mm} < 0.30\text{mm}$$

La verifica a fessurazione in ambiente ordinario è soddisfatta.

8.6 Flessione per momenti M_{yy} negativi

La sezione di base unitaria e altezza costante di 40cm è armata in ragione di:

- 1d16/20 sup. (compressi)
- 1d16/20 inf. (tesi)

La massima sollecitazione di calcolo mediata sulla striscia di un metro di platea nella direzione considerata, in accordo con la Figura 24, vale:

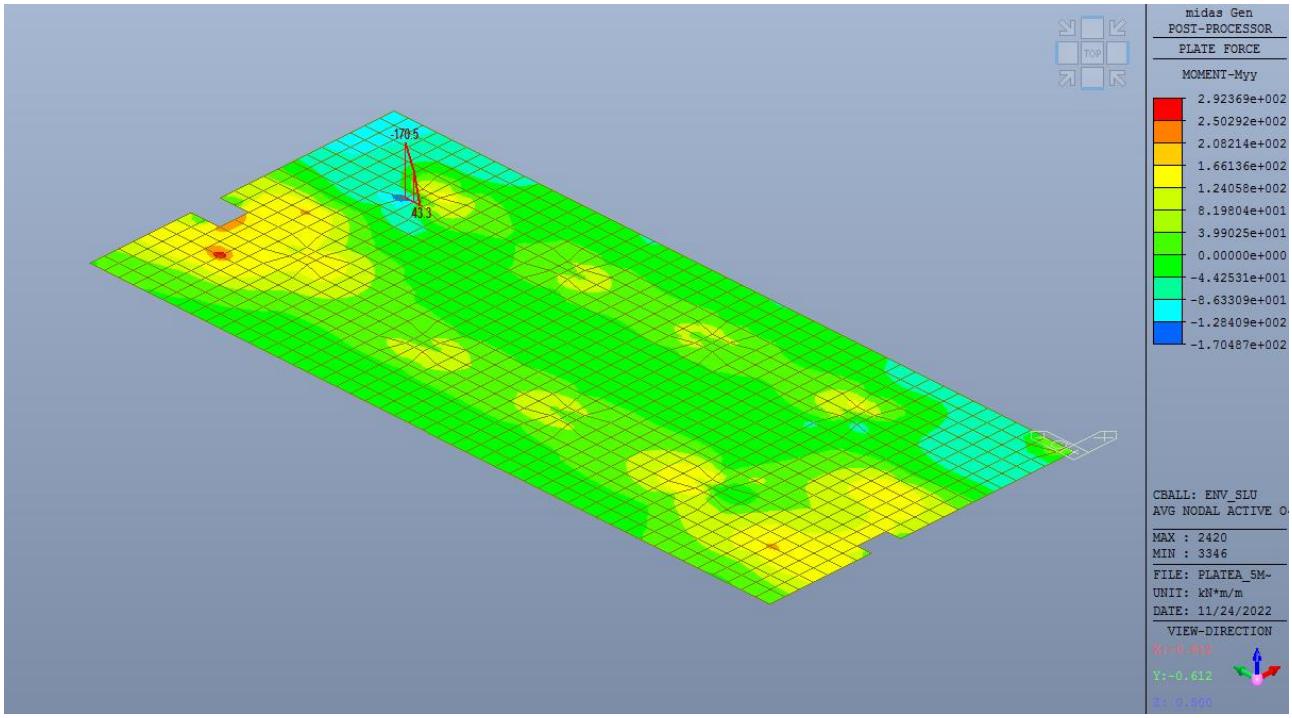
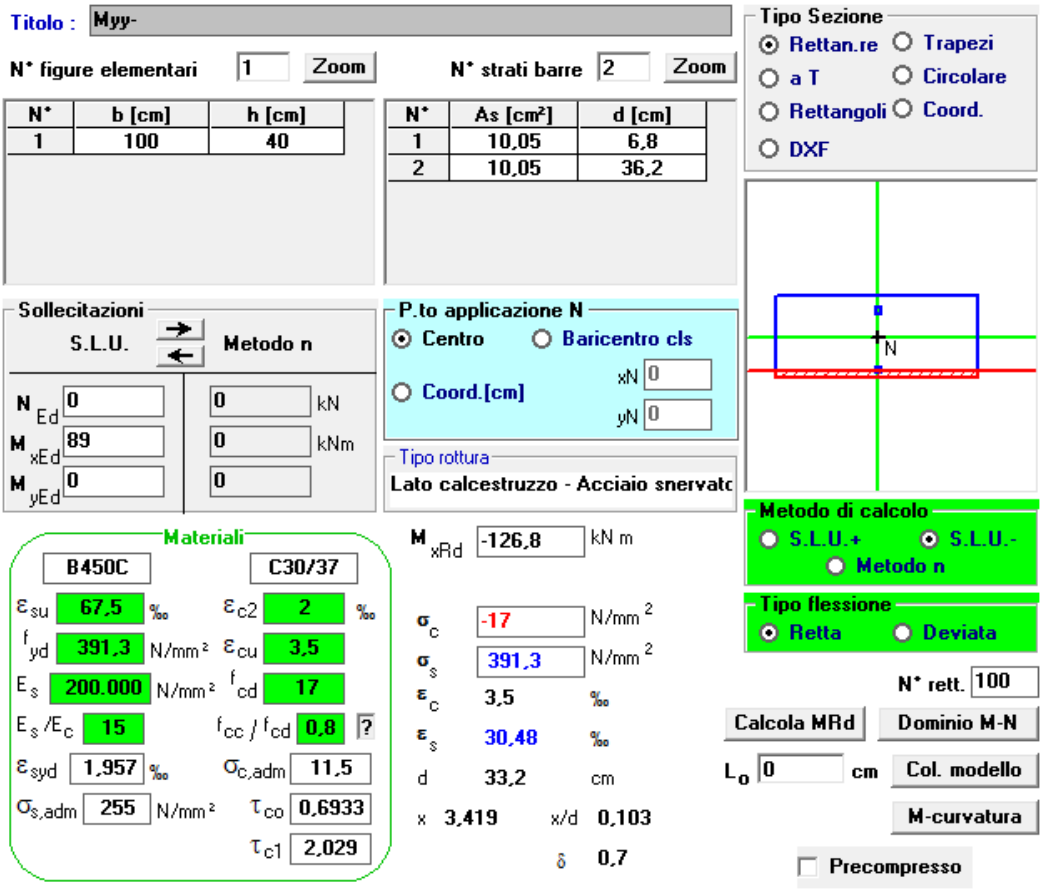


Figura 24 - Momento M_{yy-} di verifica

$M_{yy,Ed}$ = 89.0kNm/m

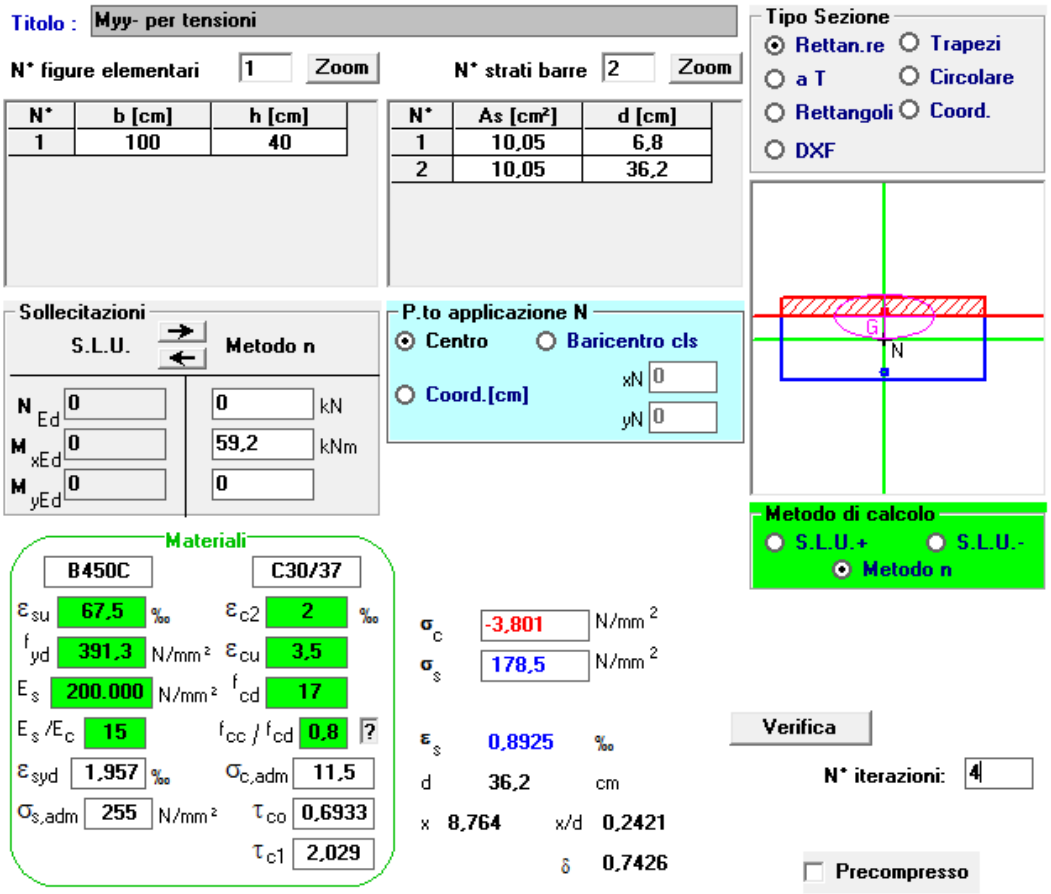
Segue output di verifica di resistenza:



Si verifica che:

$$M_{Rd} = 126.8kNm > 89.0kNm/m$$

La verifica di resistenza è soddisfatta.



Si verifica cautelativamente la sola condizione SLE Rara nei seguenti limiti più restrittivi:

σc = 3.80MPa < 13.82MPa
σs = 178.50MPa < 360.0MPa

La verifica alle tensioni è soddisfatta.

Titolo : Myy- per fessurazione FR

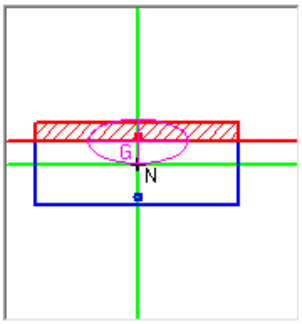
N° figure elementari 1 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N° strati barre 2 Zoom

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10,05	6,8
2	10,05	36,2

Tipo Sezione
- (•) Rettan.re
- ( ) Trapezi
- ( ) a T
- ( ) Circolare
- ( ) Rettangoli
- ( ) Coord.
- ( ) DXF



Sollecitazioni
S.L.U. → ← Metodo n

N_{Ed}	0	0	kN
M_{xEd}	0	55,1	kNm
M_{yEd}	0	0	

P.to applicazione N
- (•) Centro
- ( ) Baricentro cls
- ( ) Coord.[cm]

xN 0
yN 0

Metodo di calcolo
- ( ) S.L.U.+
- ( ) S.L.U.-
- (•) Metodo n

Materiali

B450C		C30/37	
ε_{su}	67,5 ‰	ε_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391,3 N/mm²	ε_{cu}	3,5
E_s	200.000 N/mm²	f_{cd}	17
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0,8 ?
ε_{syd}	1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	11,5
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	τ_{co}	0,6933
		τ_{c1}	2,029

σ_c	-3,538 N/mm²		
σ_s	166,1 N/mm²		
ε_s	0,8307 ‰		
d	36,2 cm		
x	8,764	x/d	0,2421
		δ	0,7426

Verifica

N° iterazioni: 4

☐ Precompresso

Geometria della sezione			
Altezza della sezione	h	400	[mm]
Larghezza della sezione	b	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	332	[mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d'	38	[mm]
Ricoprimento dell'armatura	c	60	[mm]
Armatura tesa ordinaria			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.1}$	5	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.1}$	16	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.1}$	1005	[mm^2]
Armatura tesa di infittimento			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.2}$	0	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.2}$	0	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.2}$	0	[mm^2]

Caratteristiche dei materiali			
Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck}	37	[MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm}	3.3	[MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	34545	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s	210000	[MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE			
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	166.9	[MPa]
Asse neutro della sezione	x	87.64	[mm]
Tipo e durata dei carichi applicati		Breve	
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e	6.08	[-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s	1005	[mm^2]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff.1}$	170000	[mm^2]
	$A_{c,eff.2}$	104120	[mm^2]
	$A_{c,eff.3}$	200000	[mm^2]
	$A_{c,eff.min}$	104120	[mm^2]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0.00966	[-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	3.3	[MPa]
Fattore di durata del carico	k_t	0.6	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{min}$	0.000477	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{calc.}$	-0.000249	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]$	**0.000477**	**[-]**
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	200	[mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq}	16.00	[mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	340	[mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1	0.800	[-]
	k_2	0.500	[-]
	k_3	3.400	[-]
	k_4	0.425	[-]
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max.1}$	486	[mm]
	$s_{r,max.2}$	406	[mm]
	$s_{r,max}$	**486**	**[mm]**
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k.lim}$	0.40	[mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	**w_k**	**0.23**	**[mm]**

Si verifica che:

$$w_k = 0.23\text{mm} < 0.40\text{mm}$$

La verifica a fessurazione in ambiente ordinario è soddisfatta.

Titolo : Myy- per fessurazione QP

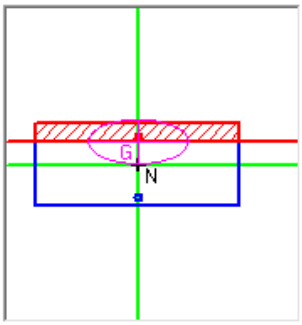
N° figure elementari 1 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N° strati barre 2 Zoom

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10,05	6,8
2	10,05	36,2

Tipo Sezione
- (•) Rettan.re ( ) Trapezi
- ( ) a T ( ) Circolare
- ( ) Rettangoli ( ) Coord.
- ( ) DXF



Sollecitazioni
S.L.U. → ← Metodo n

N_{Ed}	0	0	kN
M_{xEd}	0	51,0	kNm
M_{yEd}	0	0	

P.to applicazione N
- (•) Centro ( ) Baricentro cls
- ( ) Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo
- ( ) S.L.U.+ ( ) S.L.U.-
- (•) Metodo n

Materiali

B450C			C30/37	
ε_{su}	67,5	‰	ε_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391,3	N/mm²	ε_{cu}	3,5
E_s	200.000	N/mm²	f_{cd}	17
E_s/E_c	15		f_{cc}/f_{cd}	0,8 ?
ε_{syd}	1,957	‰	$\sigma_{c,adm}$	11,5
$\sigma_{s,adm}$	255	N/mm²	τ_{co}	0,6933
			τ_{c1}	2,029

σ_c	-3,274	N/mm²
σ_s	153,8	N/mm²
ε_s	0,7689	‰
d	36,2	cm
x	8,764	x/d 0,2421
		δ 0,7426

Verifica

N° iterazioni: 4

☐ Precompresso

Geometria della sezione			
Altezza della sezione	h	400	[mm]
Larghezza della sezione	b	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	332	[mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d'	38	[mm]
Ricoprimento dell'armatura	c	60	[mm]
Armatura tesa ordinaria			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.1}$	5	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.1}$	16	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.1}$	1005	[mm^2]
Armatura tesa di infittimento			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.2}$	0	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.2}$	0	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.2}$	0	[mm^2]

Caratteristiche dei materiali			
Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck}	37	[MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm}	3.3	[MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	34545	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s	210000	[MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE			
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	153.8	[MPa]
Asse neutro della sezione	x	87.64	[mm]
Tipo e durata dei carichi applicati		Breve	
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e	6.08	[-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s	1005	[mm^2]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff.1}$	170000	[mm^2]
	$A_{c,eff.2}$	104120	[mm^2]
	$A_{c,eff.3}$	200000	[mm^2]
	$A_{c,eff.min}$	104120	[mm^2]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0.00966	[-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	3.3	[MPa]
Fattore di durata del carico	k_t	0.6	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{min}$	0.000439	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{calc.}$	-0.000311	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]$	**0.000439**	**[-]**
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	200	[mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq}	16.00	[mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	340	[mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1	0.800	[-]
	k_2	0.500	[-]
	k_3	3.400	[-]
	k_4	0.425	[-]
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max.1}$	486	[mm]
	$s_{r,max.2}$	406	[mm]
	$s_{r,max}$	**486**	**[mm]**
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k.lim}$	0.30	[mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	**w_k**	**0.21**	**[mm]**

Si verifica che:

w_k = 0.21mm < 0.30mm

La verifica a fessurazione in ambiente ordinario è soddisfatta.

8.7 Taglio

La sezione di base unitaria e altezza costante di 40cm è armata per il taglio in ragione di:

- 1d12/20x20 (spille verticali a taglio)

La massima sollecitazione di calcolo letta al di fuori dalle aree di sormonto della platea sui plinti e dalle aree di interesse per le successive verifiche a punzonamento, in accordo con la Figura 25, vale:

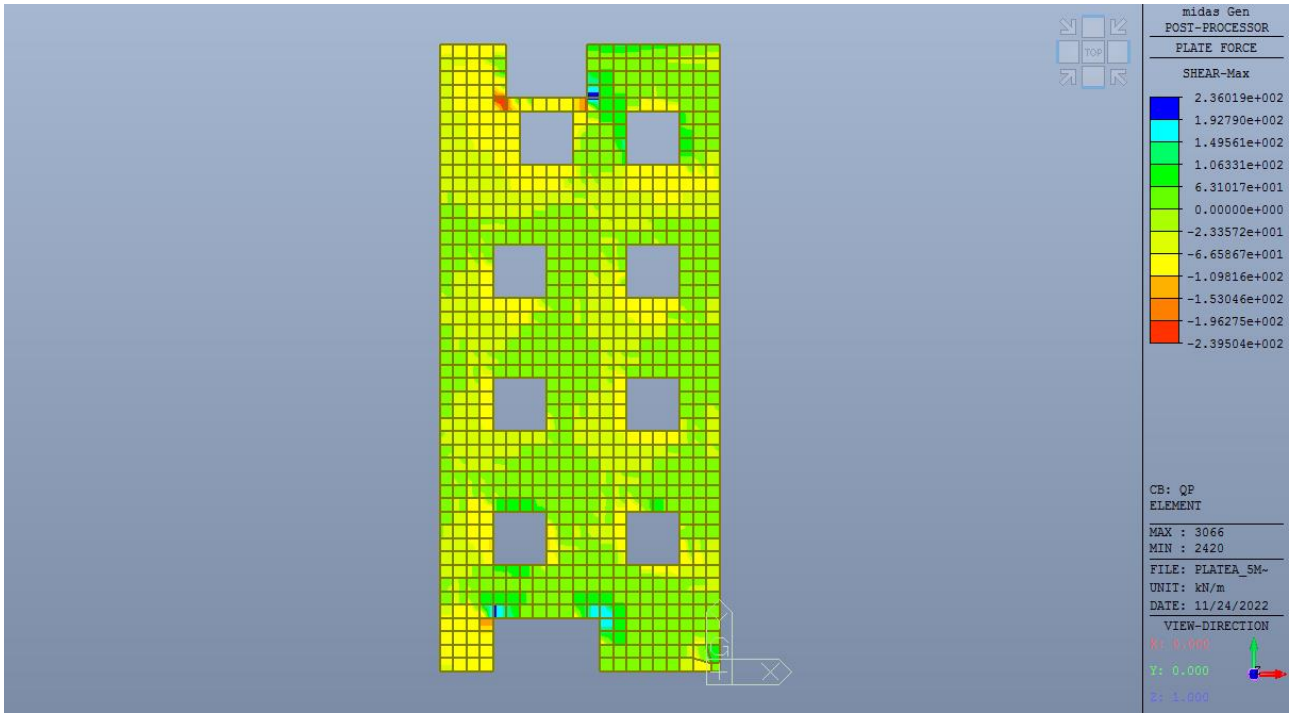


Figura 25 – Taglio V_{max} di verifica

$V_{max,Ed}$ = 239.5kN/m

Segue output di verifica di resistenza:

GEOMETRIA DELLA SEZIONE

Base della sezione	bw	1000	mm
Altezza della sezione	h	400	mm
Tolleranza di posa copriferro	dc	0	mm
Copriferro nominale da NTC	c	-	mm
Copriferro nominale personalizzato	c,pers	60	mm
Altezza utile della sezione	d	320	mm

DATI DI ARMATURA

Numero ferri longitudinali corrente teso	nsl	5	ad
Diametro ferri longitudinali corrente teso	ϕsl	16	mm
Area totale ferri longitudinali corrente teso	Asl	1005	mm^2
Presenza di armatura resistente a taglio	Atag	SI	
Diametro staffe	ϕsw	12	mm
Numero bracci staffe	nb	5	ad
Passo staffe	sw	200	mm
Angolo di inclinazione delle staffe rispetto all'asse dell'elemento	αw	90	deg
Area totale staffe nello sviluppo di un metro di elemento	Asw/m	2827	mm^2/m
Numero ferri piegati in parallelo	np	0	ad
Diametro ferri piegati	ϕp	0	mm
Passo ferri piegati (misurato nel senso longitudinale dell'elemento)	sp	0	mm
Angolo di inclinazione dei ferri piegati rispetto all'asse dell'elemento	αp	0	deg
Area totale piegati nello sviluppo di un metro di elemento	Asp/m	0	mm^2/m

DATI DI SOLLECITAZIONE

Taglio agente in comb. ultima SLU-SLV	VEd	239.50	kN
Azione assiale agente in comb. ultima SLU-SLV (compressioni positive)	NEd	0.00	kN

DATI DI CALCOLO

Contributo alla resistenza dell'armatura longitudinale	eff. spin.	SI	
Inclinazione della biella compressa	ctgθ	1.00	ad
Angolo di inclinazione della biella compressa	θ	45.00	deg
Parametri di calcolo della resistenza a taglio VRd,max per elementi senza apposite armature trasversali	k	1.79	ad
	νmin	0.46	ad
	ρl	3.14E-03	ad
Tensione media di compressione nella sezione	σcp	0.00	MPa

VERIFICA A ROTTURA PER TAGLIO

Resistenza a taglio in assenza di specifica armatura	VRd,max	148.71	kN
Resistenza a taglio-compressione	VRcd	1252.97	kN
Resistenza a taglio-trazione contributo staffe	VRsd,w	318.64	kN
Resistenza a taglio-trazione contributo ferri piegati	VRsd,p	0.00	kN
Resistenza a taglio-trazione elemento	VRsd	318.64	kN
Resistenza a taglio dell'elemento	VRd	318.64	kN
Coefficiente di sicurezza	**c.s.**	1.330	

Si verifica che:

$$V_{Rd} = 318.7kN/m > 239.5kN/m$$

La verifica di resistenza è soddisfatta.

8.8 Punzonamento

La sezione di base unitaria e altezza costante di 40cm la cui armatura utile al punzonamento è in ragione di:

- 1d16/20x20 sup.

La massima sollecitazione di calcolo, in accordo con la Figura 26, vale:

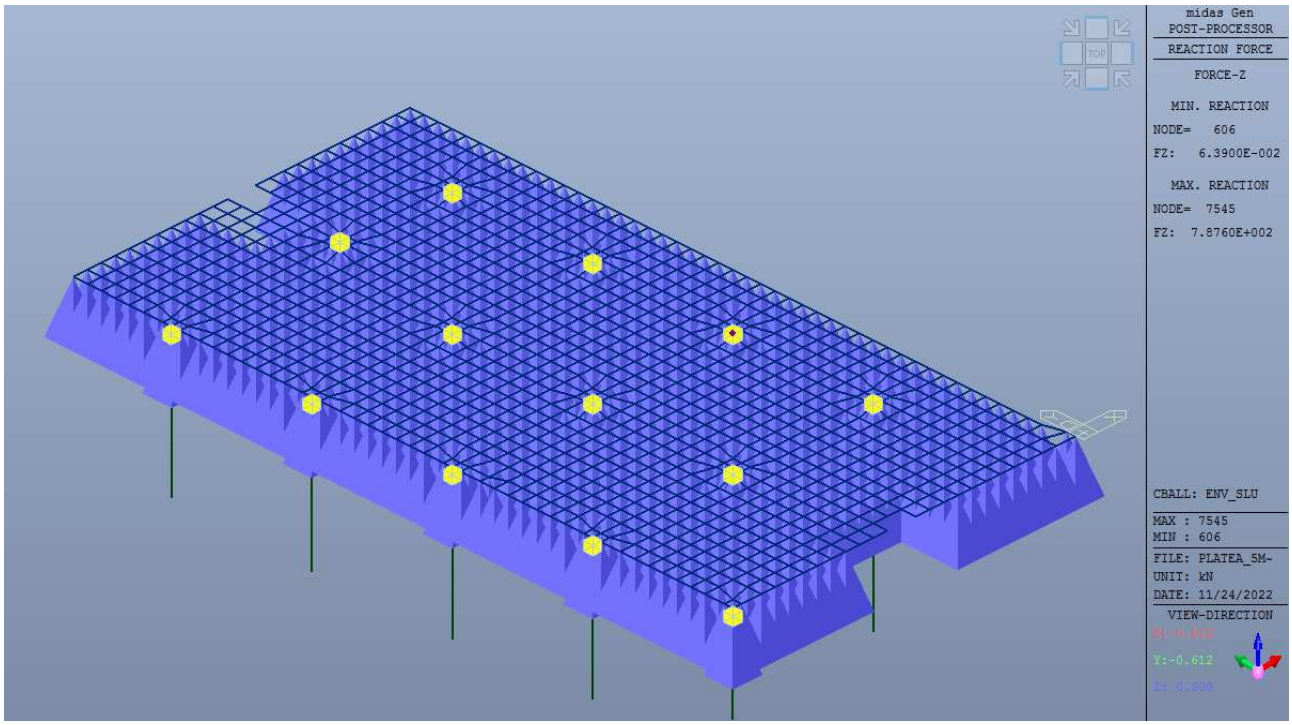


Figura 26 – Punzonamento V_{Ed} di verifica

V_{Ed} = 787.0kN

Segue output di verifica di resistenza:

VERIFICA A TAGLIO-PUNZONAMENTO SECONDO § 6.4 - EUROCODICE 2

Sollecitazioni

Azione di punzonamento allo SLU	V_{Ed}	**787.0**	kN	
Momento piastra allo SLU intorno a y per ferri z	$M_{Ed,zz}$	**0.0**	kNm	
Momento piastra allo SLU intorno a z per ferri y	$M_{Ed,yy}$	**0.0**	kNm	

Dati generali

Posizione elemento punzonante	Posiz.	**interno**	-	
Diametro elemento punzonante	D	**600**	mm	
Altezza piastra	h	**400**	mm	
Copriferro barre y	c_y	**60**	mm	
Copriferro barre z	c_z	**76**	mm	
Diametro barre tese direzione y	ϕ_y	**16**	mm	
Diametro barre tese direzione z	ϕ_z	**16**	mm	
Altezza utile ferri y	d_y	332	mm	
Altezza utile ferri z	d_z	316	mm	
Altezza utile effettiva	d_{eff}	324	mm	
Area caricata	A_{load}	282743	mm^2	
Distanza perimetro di verifica di base u_1	d_1	**2d**	-	
Perimetro di verifica di base u_1	u_1	5956	mm	
Perimetro elemento punzonante	u_0	1885	mm	
Passo barre tese in direzione y	s_y	**200**	mm	
Passo barre tese in direzione z	s_z	**200**	mm	
Area di acciaio tesa direzione y	A_{sy}	1005	mm^2/m	*Armatura SUFFICIENTE*
Area di acciaio tesa direzione z	A_{sz}	1005	mm^2/m	*Armatura SUFFICIENTE*
Percentuale di acciaio direzione y	ρ_{ly}	0.0030	-	
Percentuale di acciaio direzione y	ρ_{lz}	0.0032	-	
Percentuale di acciaio di calcolo	ρ_l	0.0031	-	
Area di verifica di base	A_{cont}	2823362	mm^2	
Pressione del suolo SLU	σ_{Ed}	**0.009**	MPa	
Forza netta rivolta verso l'alto nel perimetro di verifica	ΔV_{Ed}	25.41	kN	
Forza tagliante ridotta applicata allo SLU	$V_{Ed,red}$	762	kN	

Calcolo del taglio-punzonamento

Calcestruzzo in uso	Classe	**C30/37**	MPa	
Parametro β – EC2 formula (6.42)	β	1.15	-	
Tensione massima di taglio sul perimetro u_1	$v_{Ed,u1}$	0.454	MPa	
Tensioni normali in direzione y - EC2 6.4.4 (1)	σ_{cy}	**0.00**	MPa	
Tensioni normali in direzione z - EC2 6.4.4 (1)	σ_{cz}	**0.00**	MPa	
Tensioni normali di progetto	σ_{cp}	0.00	MPa	
Parametro k - EC2 (6.47)	k	1.79	-	
Parametro k_1 - EC2 (6.47)	k_1	0.10	-	
Parametro ν_{min} - EC2 (6.47)	ν_{min}	0.03	-	
Valore di progetto del taglio-punz. resistente	$v_{Rd,c}$	0.454	MPa	
Valore di progetto del massimo taglio-punz. resistente	v_{Rd}	0.454		
Distanza tra contorno elemento e perimetro di verifica	a	648	mm	
Coefficiente di sicurezza	c.s.	**1.00**	-	*NO armatura specifica*

Controllo della sezione in calcestruzzo

Tensione massima di taglio sul perimetro u_0 - EC2 (6.5.3	$v_{Ed,u}$	1.482	MPa	
Parametro ν - EC2 (6.6)	ν	0.53	-	
Resistenza a taglio-punzon. in adiacenza all'elemento	$v_{Rd,max}$	4.58	MPa	
Coefficiente di sicurezza	c.s.	**3.09**	-	*Sezione cls SUFFICIENTE*

8.9 Giunto strutturale

Come già descritto nei Capitoli 1 e 6 della presente, sulla platea sono attivi giunti strutturali realizzati "a sella". Nell'immagine seguente (Figura 27) è riportata la sollecitazione di taglio V_{yy} che interessa il giunto:

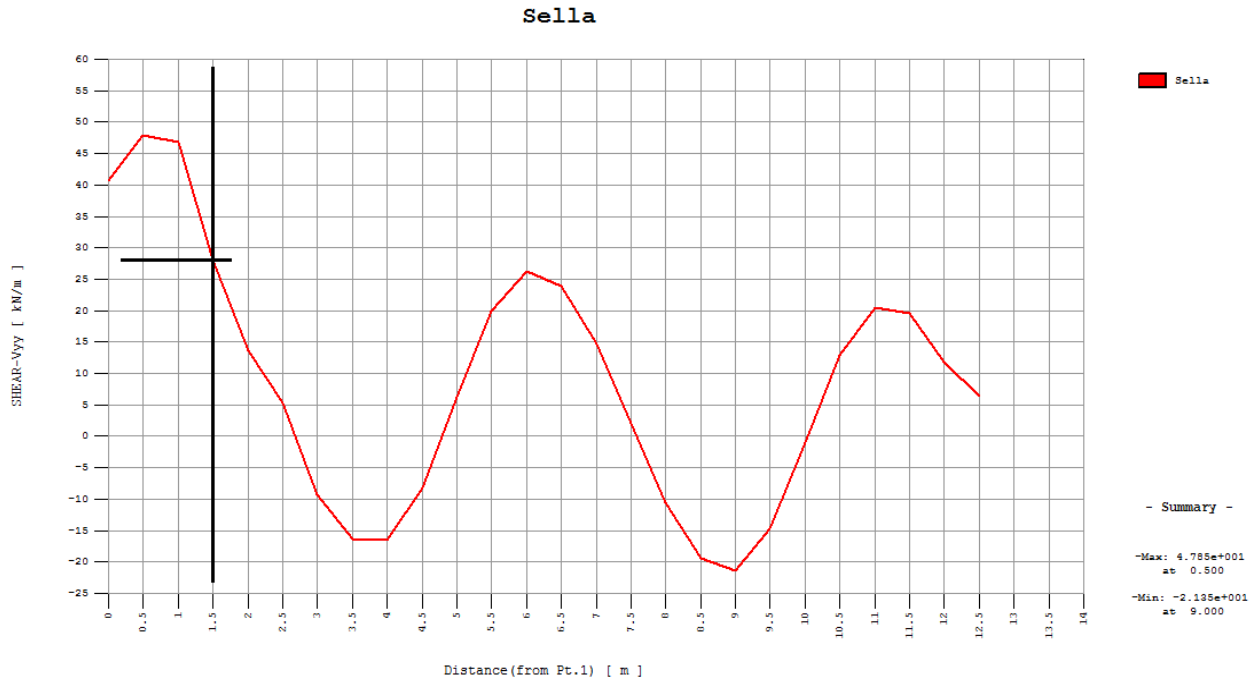


Figura 27 - Taglio in corrispondenza del giunto strutturale

L'immagine riporta il grafico del taglio lungo una sezione normale al giunto tracciata nella posizione che massimizza il valore della sollecitazione stessa. Sull'asse delle ascisse del grafico, pertanto, è riportata la posizione della lettura sulla sezione di cui sopra misurata dal bordo esterno della porzione di platea, mentre in ordinata è riportato il valore del taglio corrispondente. In particolare, il valore di ascissa pari a 1.5m è rappresentativo della presenza del giunto.

Si ricava che:

$$\mathbf{V_{yy,Ed} = 28.1kN/m}$$

La sezione di base unitaria costituente la sella ha un'altezza di 20cm ed è armata in ragione di:

- 1d16/20 sup.
- 1d16/20 inf.
- Staffe a 2 bracci d10/20

Segue output di verifica di resistenza della mesola tozza risultante di luce di calcolo e altezza pari a 20cm:

CARATTERISTICHE GENERALI DELL'OPERA

Vita nominale (Tab. 2.4.I NTC)	VN	**50 anni**	
Tipologia di elemento da verificare (Tab. C4.1.IV Circ.617/09)	elemento	**Piastra c.a.**	
Condizioni ambientali (Tab. 4.1.III NTC)	cond. amb.	**Ordinarie**	

MATERIALI IMPIEGATI

Calcestruzzo

Livello di conoscenza (Tab. C8A.1.2 Circ.617/09)	LC	**Nuovo**	
Modalità di getto dell'elemento	getto	**Opera**	
Classe di resistenza del calcestruzzo	Cfck/Rck	**C30/37**	MPa
Resistenza di calcolo a compressione	fcd	**17.40**	MPa

Acciaio in tondo da c.a.

Livello di conoscenza	LC	**Nuovo**	
Acciaio **NTC**	tipo	**B450C**	MPa
Resistenza di progetto dell'acciaio	fyd	**391.30**	MPa

GEOMETRIA DELLA SEZIONE

Altezza della sezione	h	**200**	mm
Copriferro nominale (C4.1.6.1.3 Circ.617/09)	c	-	mm
Copriferro personalizzato	c,pers	**60**	mm
Altezza utile della sezione	d	**132**	mm
Base della sezione	b	**1000**	mm
Sbalzo netto della mensola	L	**200**	mm
Punto di applicazione del carico	a	**200**	mm
Sbalzo di calcolo mensola	l	**226**	mm
Angolo di inclinazione del puntone compresso	Y	**28**	deg
Snellezza elemento (applicabilità del metodo)	λ	**1.91**	**SI**

DATI DI ARMATURA

Diametro ferri longitudinali corrente teso	fsl	**16**	mm
Numero ferri longitudinali corrente teso	nsl	**5**	ad
Area totale ferri longitudinali corrente teso	Asl	**1005**	mm2
Diametro staffe nel piano verticale	fsw	**10**	mm
Numero bracci staffe	nsw	**5**	ad
Passo staffe	sw	**200**	mm
Area utile staffe nello sviluppo "a"	Asw	**2011**	mm2

DATI DI SOLLECITAZIONE

Carico verticale agente in combinazione ultima (SLU o SLV)	PEd	**28.10**	kN
Carico orizzontale agente in combinazione ultima (SLU o SLV)	HEd	**0.00**	kN

VERIFICA A ROTTURA

Portanza della mensola in termini di resistenza dell'armatura	PRS	**206.42**	kN
Portanza della mensola in termini di resistenza del puntone compresso	PRC	**297.57**	kN
Coefficiente di sicurezza	**c.s.**	**1.442**	

NOVIGLIO data Centres MXPI
Noviglio

RAFT FOUNDATION CALCULATION REPORT MXP I-I

MXP-MAE-ZZ-ZZ-CA-S-0005

Revision N°	Revision Date	Issue Description	Dra.	App. Ver.
P01	2022/12/16	Issued for Construction – WP1	IC	RMN
P02	2023/02/17	Issued for Construction – WP2	IC	RMN

Summary

1 ABSTRACT 4
2 OBJECT 5
3 FOREWORD 6
3.1 Reference Regulations 6
3.2 Calculation codes 6
4 LOAD ANALYSIS 7
4.1 Structural material load 7
4.2 Non-structural permanent loads 7
4.3 Overloads 7
4.4 Partial security coefficients 7
4.5 Load combinations 8
5 CHARACTERISTICS OF THE MATERIALS 10
6 STRUCTURAL ANALYSIS 11
6.1 Structure modelling 11
6.2 Primary load cases 14
6.3 Load combinations 14
7 RESULTS 16
7.1 Settlements 16
7.2 Pressure on the subsoil 16
7.3 Support reactions 17
7.4 Stresses 18
8 VERIFICATIONS 22
8.1 Verifications at the ultimate limit state 22
8.2 Verifications of the serviceability limit state 22
8.3 Positive bending moments M_{xx} 23
8.4 Negative bending moments M_{xx} 30
8.5 Positive bending moments M_{yy} 37
8.6 Negative bending moments M_{yy} 44
8.7 Shear 51
8.8 Puncture 53
8.9 Structural joint 55

INDEX OF THE FIGURES

Figure 1 - Organization of the area 5
Figure 2 - Foundation Slab: Layout 5
Figure 3 - Partial coefficients for the actions (Tab.2.6.I NTC2018) 7
Figure 4 - Values of the combination coefficients (Tab.2.5.I NTC2018) 8
Figure 5 - Combination coefficients in use 9
Figure 6 - Typical slab field object of FEM modelling 11
Figure 7 - FEM Modelling of the structure: definition of the mesh and symmetry constraints 12
Figure 8 - FEM Modelling of the structure: definition of the structural joints 13
Figure 9 - Interaction pile-slab 14
Figure 10 - Load combinations 15
Figure 11 - Settlements along the global axis Z in Rare Serviceability combination SLE 16
Figure 12 - Course of the pressures on the subsoil in Rare serviceability combination SLE 17
Figure 13 - Reactions along the global axis Z on the settlement reducing piles in SLU combination 18
Figure 14 - System of local reference xyz for “the slab” elements 19
Figure 15 - M_{xx} Moments in ultimate SLU combination 20
Figure 16 - M_{xx} Moments in ultimate SLU combination 20
Figure 17 - V_{xx} Shears in ultimate SLU combination 21
Figure 18 - V_{xx} Shears in ultimate SLU combination 21
Figure 19 - Tab. 4.1.III NTC2018 22
Figure 20 - Tab. 4.1.IV NTC2018 23
Figure 21 - Moment M_{xx+} verification 24
Figure 22 - M_{xx-} Moment verification 30
Figure 23 - M_{yy+} moment verification 37
Figure 24 - Moment M_{yy-} of verification 44
Figure 25 –V_{max} Shear verification 51
Figure 26 - V_{Ed} Puncture test 53
Figure 27 - Shear stress at the height of the structural joint 55

1 ABSTRACT

This calculation report shows the analysis and the verifications for the design of the slab foundation with settlement reducing piles of the Data Room.

The slab has a planimetry dimension inscribed in a 250x47 m rectangle, and has a constant thickness of 0,40 m. From a structural point of view, the slab has a structural joint in the middle of its longitudinal development, corresponding to the doubling of the columns (see fig. 2). The slab is also divided in blocks by saddle joints as specified in Chapter 5. Crack controlling joints are planned to guarantee the integrity of the slab, with a maximum depth of 40 mm, and creating 20 m^2 blocks.

In Chapter 4 the loads analysis is reported, in compliance with the NTC2018 and the Client's requests, and the material properties refer to Chapter 5 and the designs drawings.

The analysis of the foundation structure was completed using the displacement methods with a finite elements model. The design software used for the modelling was MIDAS GEN already described in Paragraph 3.2. The analytic model uses 50x50 cm quadrilateral "plate" type elements for the foundation slab with a constant thickness of 40 cm in compliance with the work dimension.

The model concerns a typical block of slab between 2 structural joints, as better described in the following Figure 5 that shows the relevant geometrical dimensions for the calculation.

Regarding the structure-foundation soil interaction the following hypothesis are applied:

1. The slab - soil interaction is represented as Winkler elastic soil. According to this method the soil is schematized as a spring bed able to react to loads acting along their axis, the spring behaviour is linear elastic. Surface Spring Supports were introduced in the model having a subgrade reaction of:

$$K_{v,soil} = 1'000 kN/m^3$$

2. The presence of the settlement reducing piles is represented by a Point Spring Support that has a vertical elastic constant equal to:

$$K_{v,settlement\ pile} = 100'000 kN/m$$

3. The piles below the column plinths are represented by a Point Spring Support that has a vertical elastic constant equal to:

$$K_{v,\ plinth\ pile} = 350'000 kN/m$$

For details on the estimate of the stiffness used, refer to the interaction analysis report in the "*Geotechnical Report*".

In Chapter 7 the results of the calculation are reported in terms of vertical displacements (§7.1), pile reactions (§7.2) and internal actions of the foundation slab. For the verifications refer to Chapter 8, where the resistance (ULS) and cracking (SLS) verifications are reported, in compliance with the Regulation in force.

2 OBJECT

This calculation report was drawn up for the project of a new Data Center to be realised in an area of approximately 220'000 m2 (*Figure 1* - red line) located to the south of the Town's territory on the border of the Town of Binasco.

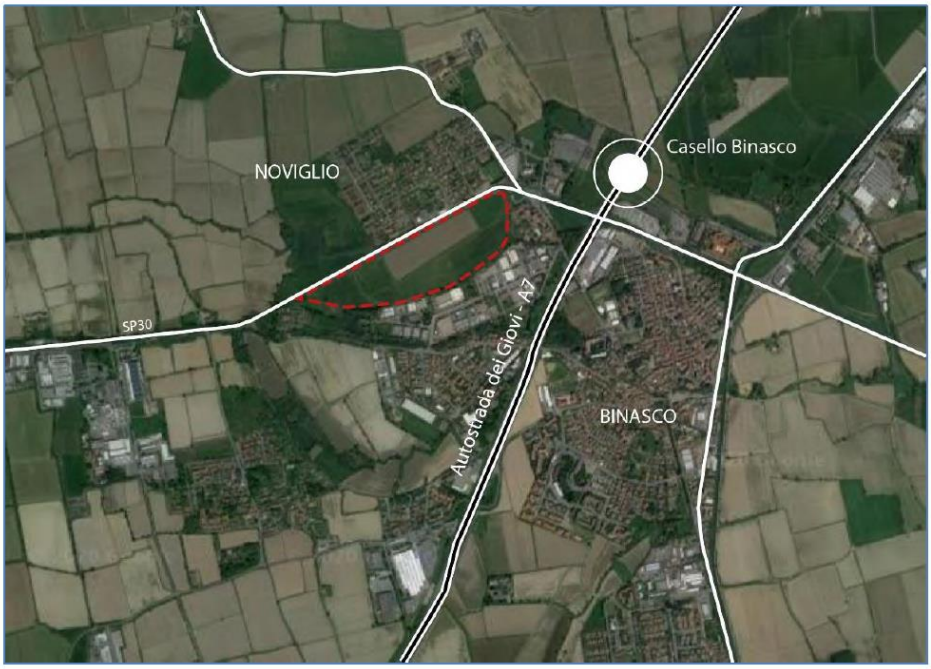


Figure 1 - Organization of the area

These are the verifications of the dimensioning of the foundation system of the Data Room slab installed on settlement reducing piles. The slab plan, with the indication of the piles of the superstructure, is illustrated in the following image, as well as the encumbrance of the relative plinths on piles.

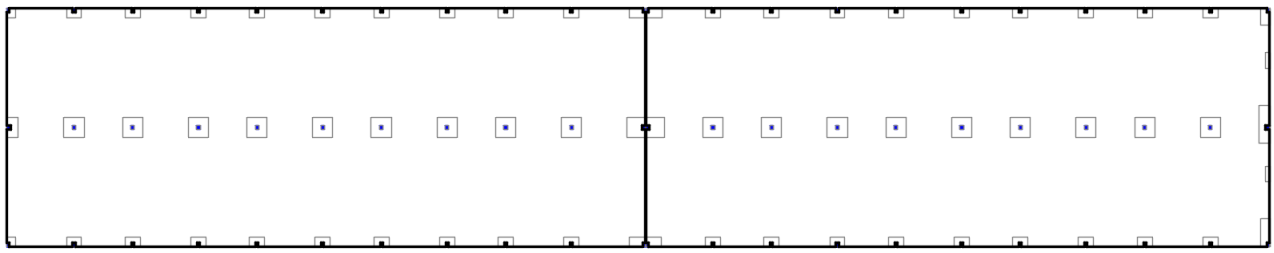


Figure 2 - Foundation Slab: Layout

The work has planimetry dimensions that can be inscribed in a rectangle of approximately 250x47m, with a constant thickness of 40cm. From the structural point of view, it is characterised by the presence of a main structural joint located in the middle of its longitudinal development, in correspondence with the doubling of the pillars (see Figure 2 - Foundation Slab: Layout).

The slab is also subdivided into fields by ulterior structural " *saddleback type*" joints, as best defined in the following Chapter 5. Pre-cracking cuts have been provided to guarantee the integrity of the above, with a maximum depth of 40mm, forming fields of approximately 20m^2.

3 FOREWORD

3.1 Reference Regulations

This *Calculation Report* was drawn up in compliance with the enforced national and regional Regulations (NTC-2018) that require the verifications to be carried out with reference to the theory of "*limit states*":

[Rif.1.] **D.M. 17/01/2018** "Update of the "technical Regulations for constructions" - GU n°8 dated 17/2/2018

[Rif.2.] **Circular dated January 21st, 2019**, n.7 of the Ministry of Infrastructures and Transportation - *Instructions for the application of the "Update of the "technical Regulations for constructions""* according to the Ministerial Decree dated January 17th, 2018. Official gazette dated 11.02.2019 n. 5, ordinary supplement n.35.

[Rif.3.] **R.G.D. dated November 30th, 2011** "*Criteria and addresses for the definition of the geological, hydrogeological and seismic component of the territory's planning programme* […]"

[Rif.4.] **R.G.D. dated July 11th, 2014, n.2129** "*Update of the seismic areas of the Region of Lombardy (L.R.1/2000, art.3, c.108, letter d)*".

[Rif.5.] **R.L. October 12th, 2015, n.33** "*Instructions in matters of construction work and relative vigilance in seismic areas* " BURL Supplement n.42 dated October 16th, 2015.

[Rif.6.] **UNI-EN 1997-1:2005** – "Eurocode 7: Geotechnical planning - Part 1: General regulations"

[Rif.7.] **UNI EN 1998-1:2005** "Eurocode 8: Structure planning for seismic resistance - Part 1: General regulations, seismic actions and rules for buildings".

[Rif.8.] **UNI-EN 1998-5:2005** "Eurocode 8: Structure planning for seismic resistance - Part 5: Foundations, containment structures and geotechnical aspects"

3.2 Calculation codes

The following numerical analyses have been conducted with the commercial calculation code named **MIDAS GEN,** distributed in Italy by CSPFea (PD).

The cross-section verifications (resistance, stresses, etc.) have been conducted using the program called **VCASLU,** realized and distributed by P. Gelfi.

Further verifications (cracking, cut, puncture, etc.) have been conducted with the help of **calculation sheets,** elaborated and tested by the author.

4 LOAD ANALYSIS

4.1 Structural material load

The structure's load is taken into account directly by the calculation software. Specifically, for the reinforced concrete that composes the slab, we consider a density of:

$$\gamma_{cls} = 25.0 \ kN/m^3$$

In compliance with that which was foreseen by the Table 3.1.I NTC2018.

The slab, as mentioned above, has a constant thickness of 40cm, therefore the structural load is considered to be :

$$\gamma_{g1} = 10.0 kN/m^2$$

4.2 Non-structural permanent loads

The loads that can be found on the construction during its normal course of operations are considered non-structural permanent loads. Specifically, there are no loads belonging to this category in this project.

4.3 Overloads

The overloads include loads linked to the intended use of the works. In this specific case, one action is considered, that takes on the following value:

$$q_{uso} = 20.0 \ kN/m^2$$

The spatial distribution of the load on the slab is considered to maximize the stresses on the latter.

4.4 Partial security coefficients

The partial security coefficients γ_G and γ_Q are given in +Table 2.6.I of the NTC2018.

Tab. 2.6.I – *Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU*

		Coefficiente γ_F	EQU	A1	A2
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali G_2[(1)]	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Figure 3 - Partial coefficients for the actions (Tab.2.6.I NTC2018)

The values of the combination coefficients ψ_0, ψ_1 and ψ_2 are reported in Table 2.5.I of the NTC2018.

Tab. 2.5.I – *Valori dei coefficienti di combinazione*

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E – Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse , parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G – Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I – Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K – Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Figure 4 - Values of the combination coefficients (Tab.2.5.I NTC2018)

4.5 Load combinations

The following combinations of the actions have been defined for the verifications of the limit states, (Paragraph 2.5.3 of the NTC2018).

Fundamental combination, generally used for the ultimate limit states (SLU):

$$\gamma_{G1}\cdot G_1 + \gamma_{G2}\cdot G_2 + \gamma_P\cdot P + \gamma_{Q1}\cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2}\cdot\psi_{02}\cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3}\cdot\psi_{03}\cdot Q_{k3} + \ldots$$

Characteristic combination (rare), generally used for the irreversible serviceability limit states (SLE) :

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02}\cdot Q_{k2} + \psi_{03}\cdot Q_{k3} + \ldots$$

Frequent combination, usually used for the reversible serviceability limit states (SLE) :

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11}\cdot Q_{k1} + \psi_{22}\cdot Q_{k2} + \psi_{23}\cdot Q_{k3} + \ldots$$

Almost permanent combination (SLE), usually used for the long term effects :

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21}\cdot Q_{k1} + \psi_{22}\cdot Q_{k2} + \psi_{23}\cdot Q_{k3} + \ldots$$

Seismic combination, used for the ultimate and serviceability limit states linked to seismic action E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21}\cdot Q_{k1} + \psi_{22}\cdot Q_{k2} + \ldots$$

Exceptional combination, used for the ultimate limit states linked to the exceptional actions of the project:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21}\cdot Q_{k1} + \psi_{22}\cdot Q_{k2} + \ldots$$

The details of the single load combinations can be found in the subsequent chapters of analysis and verification of the specific sections.

For that which concerns the serviceability load of the project in Paragraph 4.3, a "Category E" is used according to Table 2.5.I NTC2018 (Figure 4), whose values of the combination coefficients are reported below (Figure 5):

Tab. 2.5.I – *Valori dei coefficienti di combinazione*

Categoria/Azione variabile	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Categoria E – Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
[illegible] di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6

Figure 5 - Combination coefficients in use

5 CHARACTERISTICS OF THE MATERIALS

Weak concrete base layer

- Minimal resistance class: **C12/15**
- Exposure class: XC0

Protected concrete

- Resistance class: **C30/37**
- Exposure class: XC2
- Maximum water to cement ratio: 0.60
- Superior net reinforcement covering (covering): 60mm
- Inferior net reinforcement covering (covering): 30mm

Steel for non-prestressed reinforcement

- Rebars in improved adhesion steel: **B450C**
- Characteristic tensile strength: $f_{tk} \geq 540MPa$
- Characteristic yield strength: $f_{yk} \geq 450MPa$

6 STRUCTURAL ANALYSIS

6.1 Structure modelling

The analysis of the foundation structure in object has been carried out using the movement method with the modelling of the final elements. The calculation software used in the modelling (**MIDAS GEN**) is the one that was described above in Paragraph 3.2.

The geometric and mechanical characteristics of the resistant elements in the calculation outline have been deduced from the effective dimensions and the rigidities of the corresponding elements of the real structure, in order to be able to faithfully reproduce the reactions of the structures under the maximum actions of the project.

Specifically, the analytical model provides for the use of 4 node “plate” type elements for the foundation slab, with the dimensions of 50x50cm, and a constant thickness of 40cm, according to the geometry of the structure.

The modelling concerned a typical slab field included between two consecutive structural joints, as best described by the following Figure 6 , that reports the important geometry for the calculations:

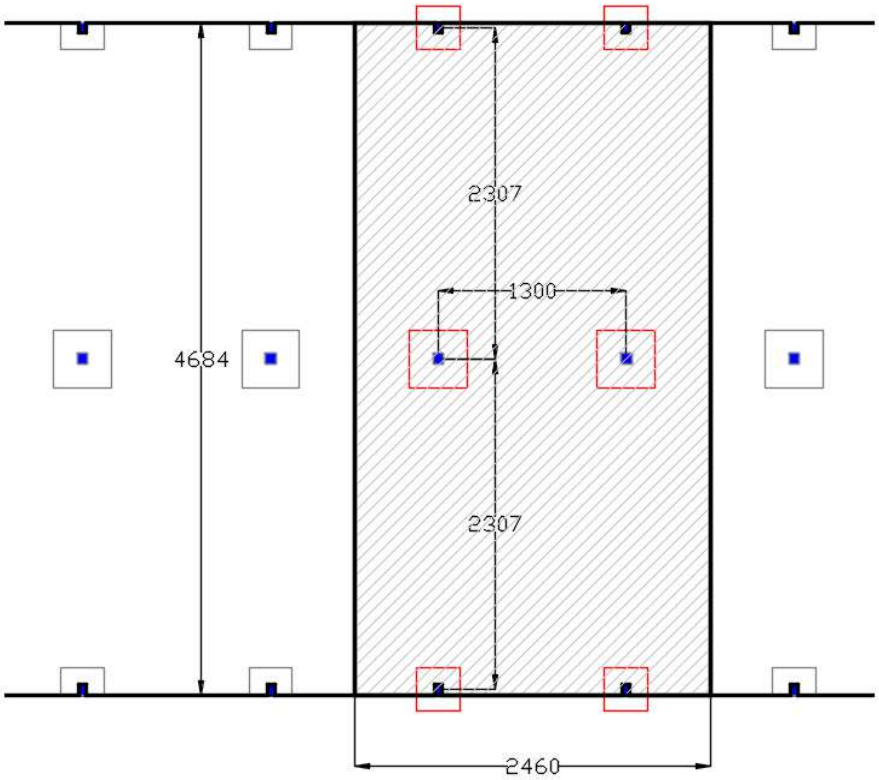


Figure 6 - Typical slab field object of FEM modelling

The portion of the grey mesh slab that is under analysis has the following dimensions: 24.60x46.84m. The pillars of the superstructure (mesh 13.00x23.07m) are indicated in blue, while the footprints of the relative plinths on piles are indicated in red (dimensions 3.00x3.00 for the exterior ones and 4.00x4.00m for the central ones) whose extrados surface constitutes the support for the slab. These plinths have also been modelled with the same “slab” elements already seen for the slab, but with a different thickness.

In order to simulate the situation of the slab support plinths, elastic ties (Elastic Link) have also been used in the vertical direction, with a monodirectional behaviour and working for the single action of compression (Compression Only), while the other translational and rotational components are free.

The settlement reducing piles of the slab have a diameter of 60cm, and are installed according to a mesh that will, under no circumstances, be higher than 5.00x5.00m.

The FEM modelling layout (Figure 7):

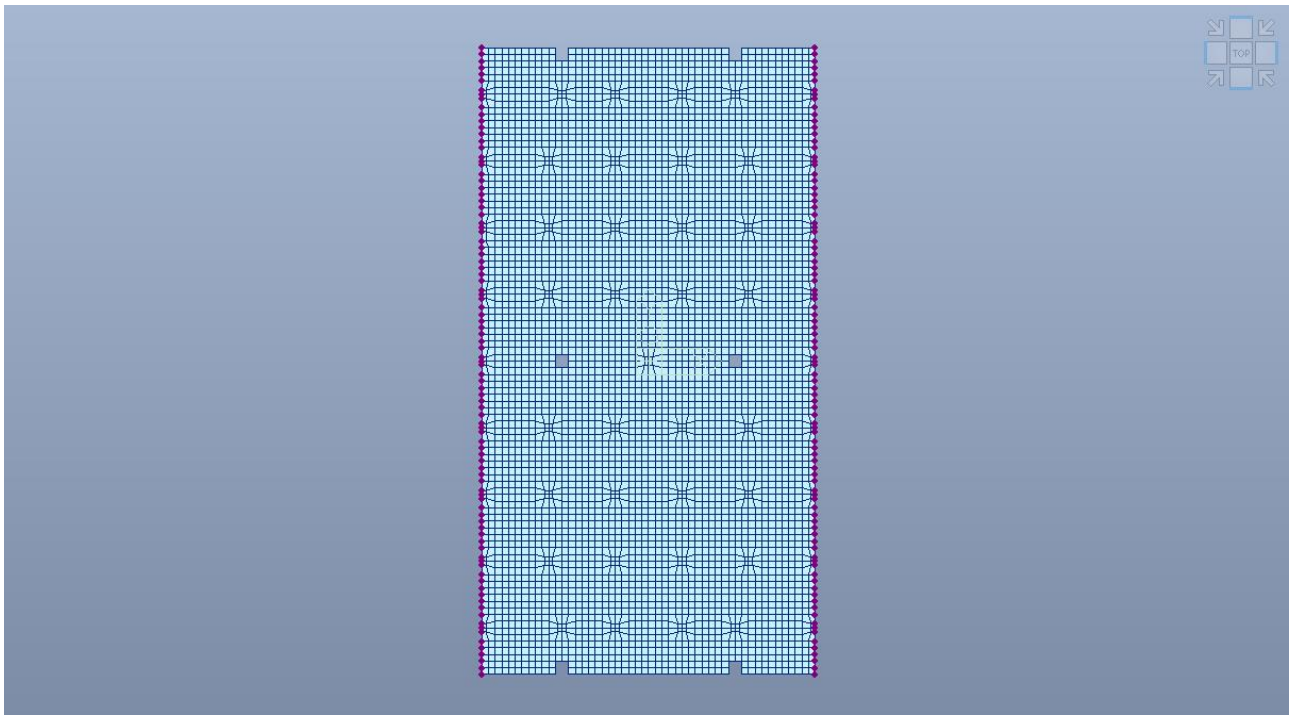


Figure 7 - FEM Modelling of the structure: definition of the mesh and symmetry constraints

The origin of the overall reference system OXYZ coincides with the crossing of the two main symmetry axis of the slab plane. The overall axis X and Y therefore belong to the horizontal plane of the slab (positive, respectively, towards the right and upwards) while the total axis Z is directed vertically (positive according to the right hand rule).

In Figure 7 the symmetry constraints (Support) introduced in the modelling to allow only the translation according to Z of the interested nodes are indicated in purple, preventing the movement and rotation of the other components.

In order to simulate the behaviour of the structural joints in their correct position and according to the previous Figure 6 , the plate elements were released on the interested nodes (Plate End Release) for that which concerns the rotation component around the desired local axis (Figure 8):

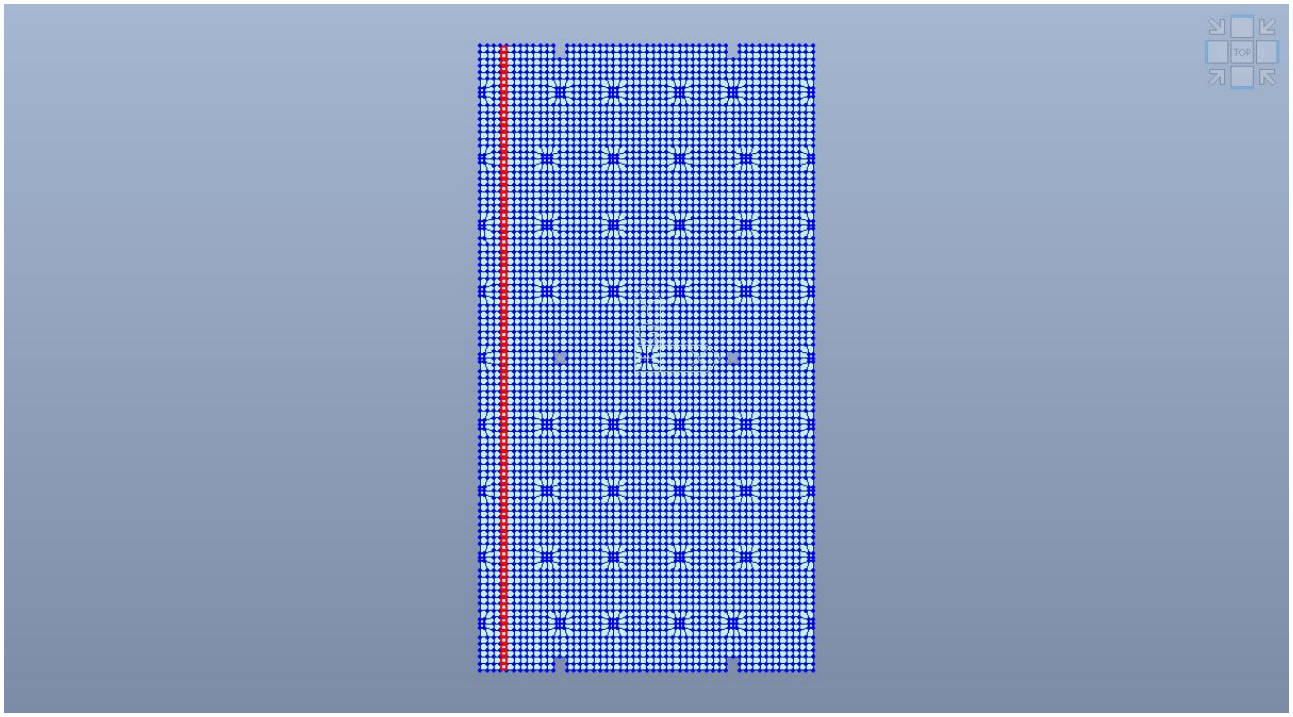


Figure 8 - FEM Modelling of the structure: definition of the structural joints

The same thing applies to the joint on the right side of the slab.

For that which concerns the interaction of the structure with the foundation ground, the following applies:

1. The interaction of the slab with the ground is represented by means of a Winkler type drawing on elastic ground. According to this method the ground is outlined like a bed of springs, that can only react to stress directed along their axis, and for which an elastic linear behaviour is assumed. Elastic constraints have therefore been introduced (Surface Spring Support) with a subgrade constant value, according to the type of soil found on-site, equal to:

$$\mathbf{K_{v,\,ground} = 1'\,000 kN/m^3}$$

2. The presence of the settlement reducing piles of the slab is represented by a ground link (Point Spring Support) whose elasticity constant in the vertical direction Z has been assumed equal to:

$$\mathbf{K_{v,\,pile\text{-}settlement} = 100'000 kN/m}$$

3. The presence of the foundation piles under the plinths is represented by a ground link (Point Spring Support) whose elasticity constant in the vertical direction Z has been assumed equal to:

$$\mathbf{K_{v,\,pile\text{-}plinth} = 350'000 kN/m}$$

For the detailed estimate of the entity of the concerned rigidities, refer back to the analyses of the interaction documented in the "*Geotechnical report*".

Elastic bonds (Elastic link) have been applied on the slab in order to consider the effects of the completed and non-precise dimensions of the settlement reducing piles, with a diameter of 60cm, that are described later in Figure 9 . These bonds are characterised by movement components and blocked rotations, and connect the nodes of the projection of the pile on the slab to the earth node:

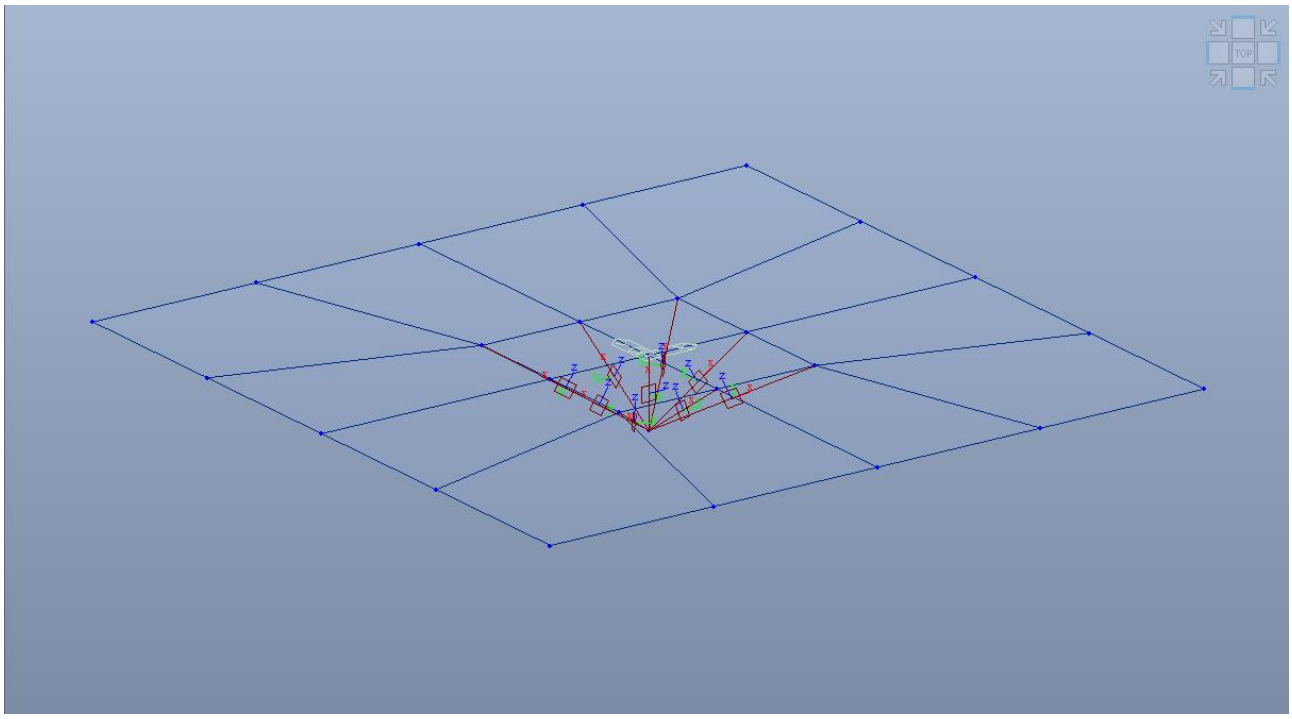


Figure 9 - Interaction pile-slab

6.2 Primary load cases

The following elementary load cases are introduced. The progressive numeration, the attributed name, the type of load and short description are highlighted:

CDC	Nome	Type	Description
1	G1	Dead Load (D)	Own structural weight
2	Qk	Live Load (L)	Usage load

6.3 Load combinations

The characteristic primary loads, mentioned in the previous paragraph, are combined according to that which is provided in Chapter 2 of the NTC2018, to obtain the project stresses in order to carry out the subsequent verifications.

The following load combinations are therefore defined, where:

- SLU = Combinations at the Ultimate Limit State
- RA = Combinations at the Rare Serviceability Limit State
- FR = Combinations at the Frequent Serviceability Limit State
- QP = Combinations at the Nearly permanent Serviceability Limit State

That which has been expressed is summed up in the following Figure 10 :

No	Name	Active	Type	G1(ST)	Qk(ST)	G2(ST)	SLU(CB)	RA(CB)	FR(CB)	QP(CB)	Description
1	SLU	Activ	Add	1.3000	1.5000	1.5000					ultima
2	RA	Activ	Add	1.0000	1.0000	1.0000					rara
3	FR	Activ	Add	1.0000	0.9000	1.0000					frequente
4	QP	Activ	Add	1.0000	0.8000	1.0000					quasi permanente

Figure 10 - Load combinations

7 RESULTS

The following are the most important results for the purpose of this Report:

7.1 Settlements

The situation of maximum settlement, estimated in the combination of Rare serviceability SLE, already introduced previously, is summed up in the following Figure 11 :

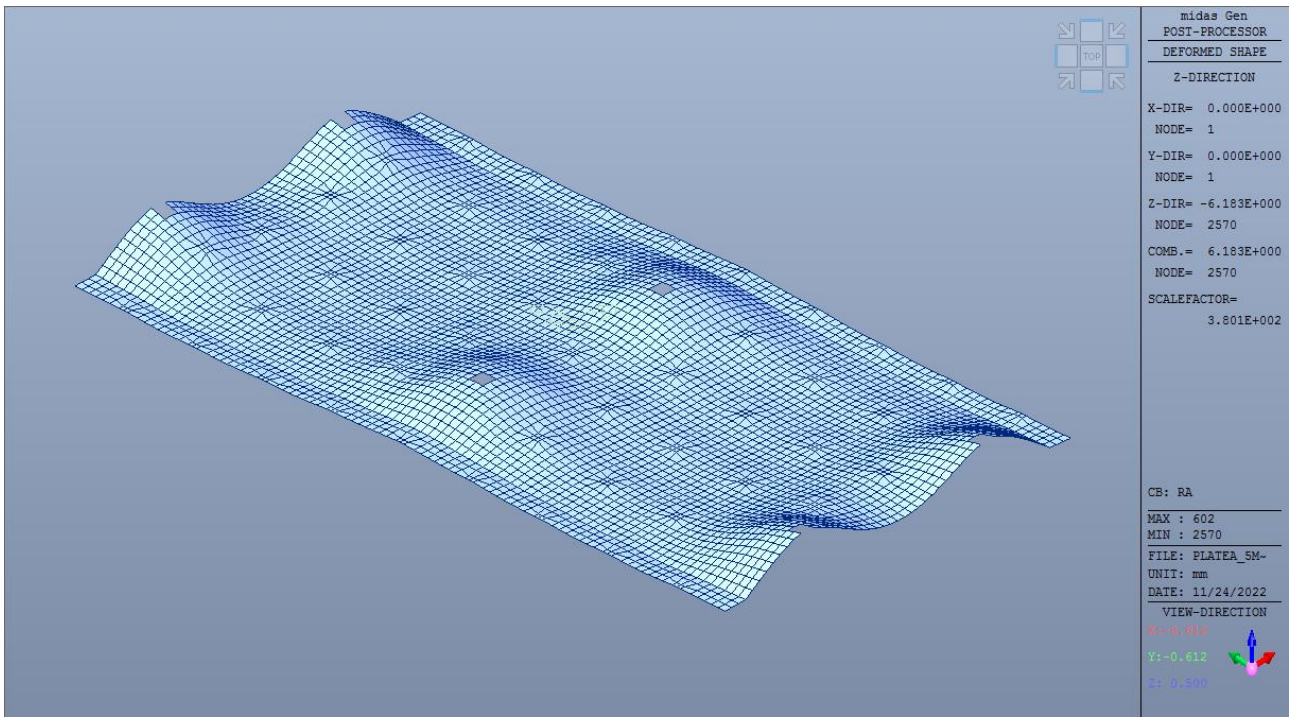


Figure 11 - Settlements along the global axis Z in Rare Serviceability combination SLE

We can see that the maximum expected vertical settlement is equal to:

Z-DIR = 6.2mm

7.2 Pressure on the subsoil

The course of the pressures on the subsoil, estimated in the combination of Rare serviceability SLE already introduced previously, is summed up in the following Figure 12 :

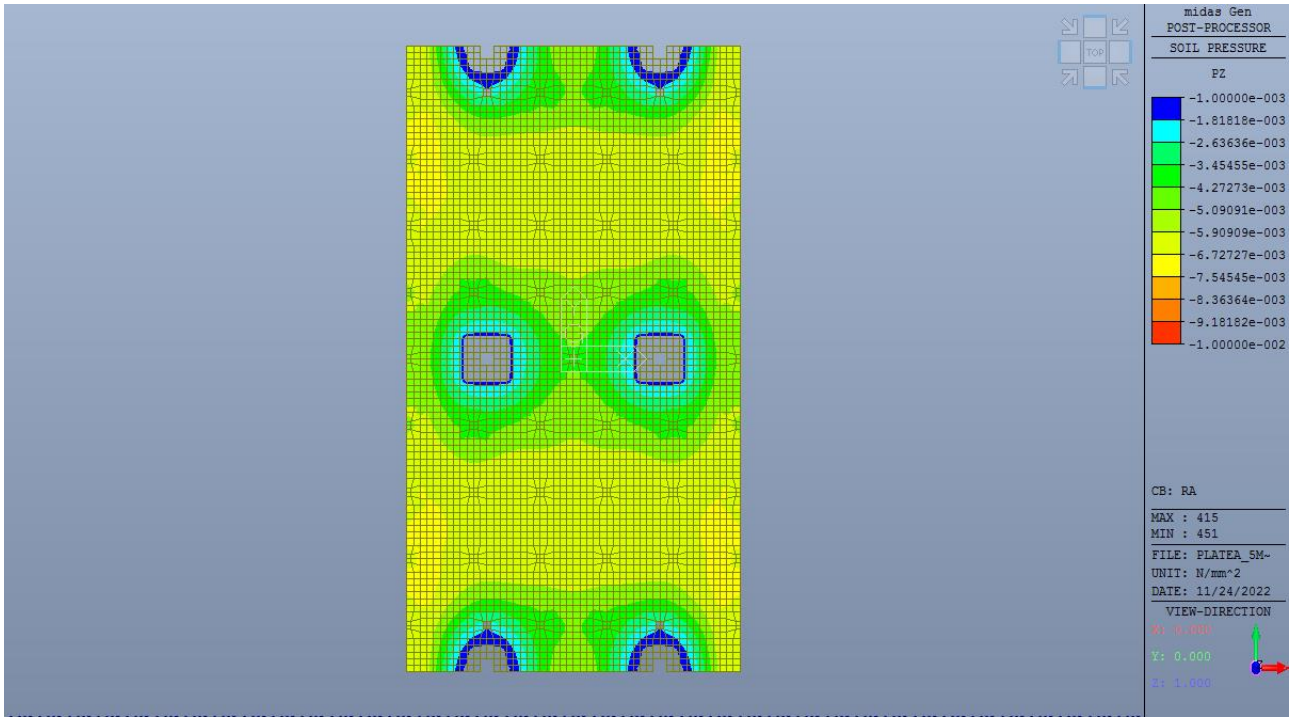


Figure 12 - Course of the pressures on the subsoil in Rare serviceability combination SLE

We can see that the maximum expected pressure is equal to:

PZ = 0.006MPa

It should also be noted that the negative pressure values (compression), that characterise the entire surface of the slab, justify the use of the bidirectional elastic springs mentioned in Paragraph 6.1.

7.3 Support reactions

The maximum expected compression reaction on the settlement reducing piles, estimated in the ultimate limit state SLU combination already introduced previously, is summed up in the following Figure 13 :

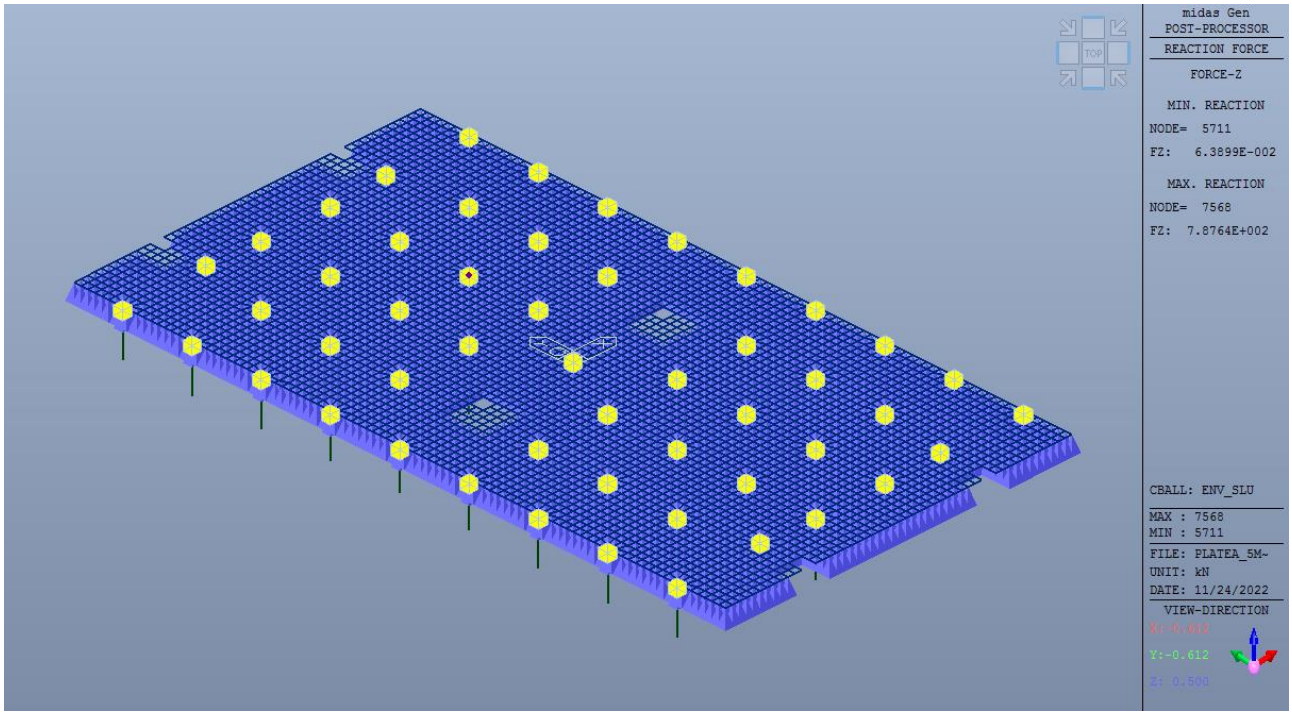


Figure 13 - Reactions along the global axis Z on the settlement reducing piles in SLU combination

We can see that the maximum expected vertical reaction is equal to:

FZ = 787.0kN

7.4 Stresses

The courses of the bending and shear stresses are reported, estimated in the ultimate SLU combination mentioned previously.

With reference to the local reference system of “the slab” elements used in the modelling, the following diagrams summarise the stresses used in the strength assessments mentioned in the following chapter. In the following image (Figure 14) the aforementioned local hand rule of xyz (red-green-blue) is reported with the global hand rule OXYZ:

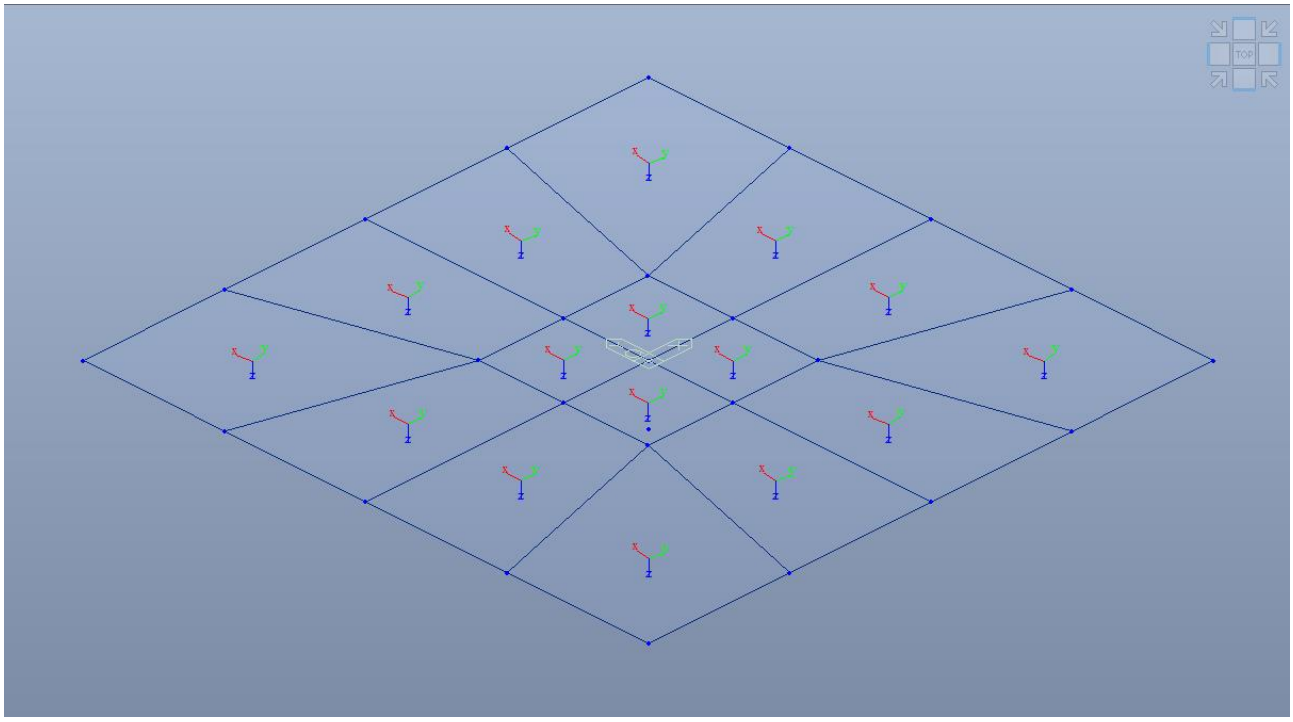


Figure 14 - System of local reference xyz for "the slab" elements

Reference will therefore be made to the important stress components thus defined:

- M_{xx} = moment around the local axis y (green axis)
- M_{yy} = moment around the local axis x (red axis)
- V_{xx} = shear in the local plan xz (red-blue axis)
- V_{yy} = shear in the local plan yz (green-blue axis)

In order to simplify understanding, the diagrams are limited to a single slab quadrant using the twofold symmetry layout of the problem. With reference to the global hand rule reference OXYZ, with its origin coinciding with the intersection of the symmetry axis of the slab, the quadrant characterized by the values of negative X and positive Y and defined on its left side (in the subsequent images) by the structural joint.

The respective diagrams are the following:

Moment M_{xx}

The M_{xx} moments defined above in the ultimate SLU combination are illustrated in the diagram:

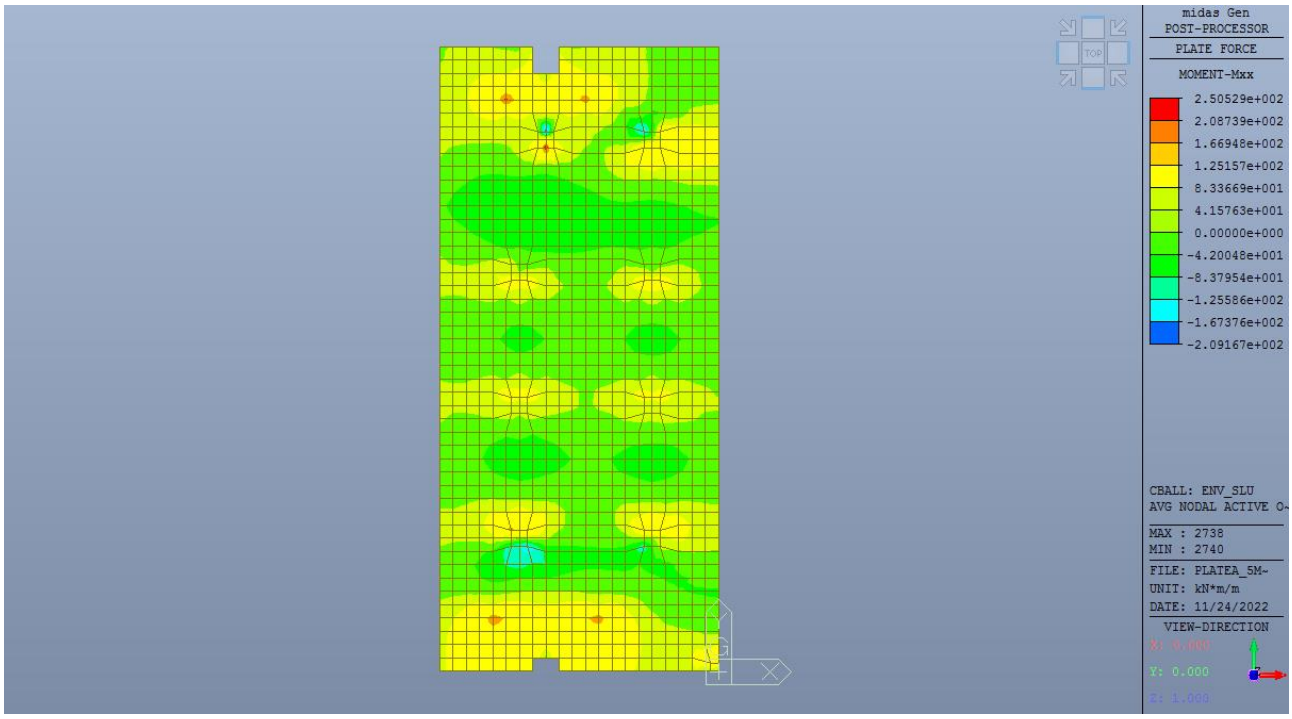


Figure 15 - M_{xx} Moments in ultimate SLU combination

M_{yy} Moment

The M_{xx} moments defined above in the ultimate SLU combination are illustrated in the diagram:

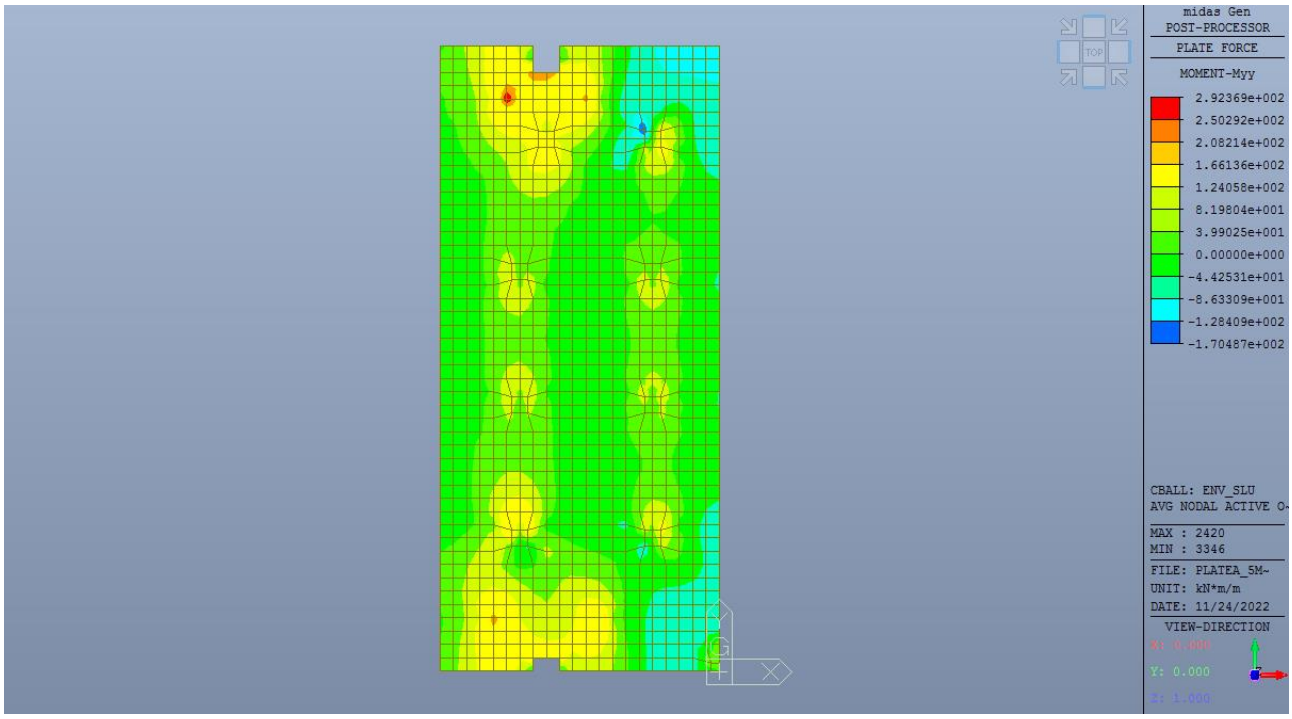


Figure 16 - M_{xx} Moments in ultimate SLU combination

Shear V_{xx}

The V_{xx} shears defined above in the ultimate SLU combination are illustrated in the diagram:

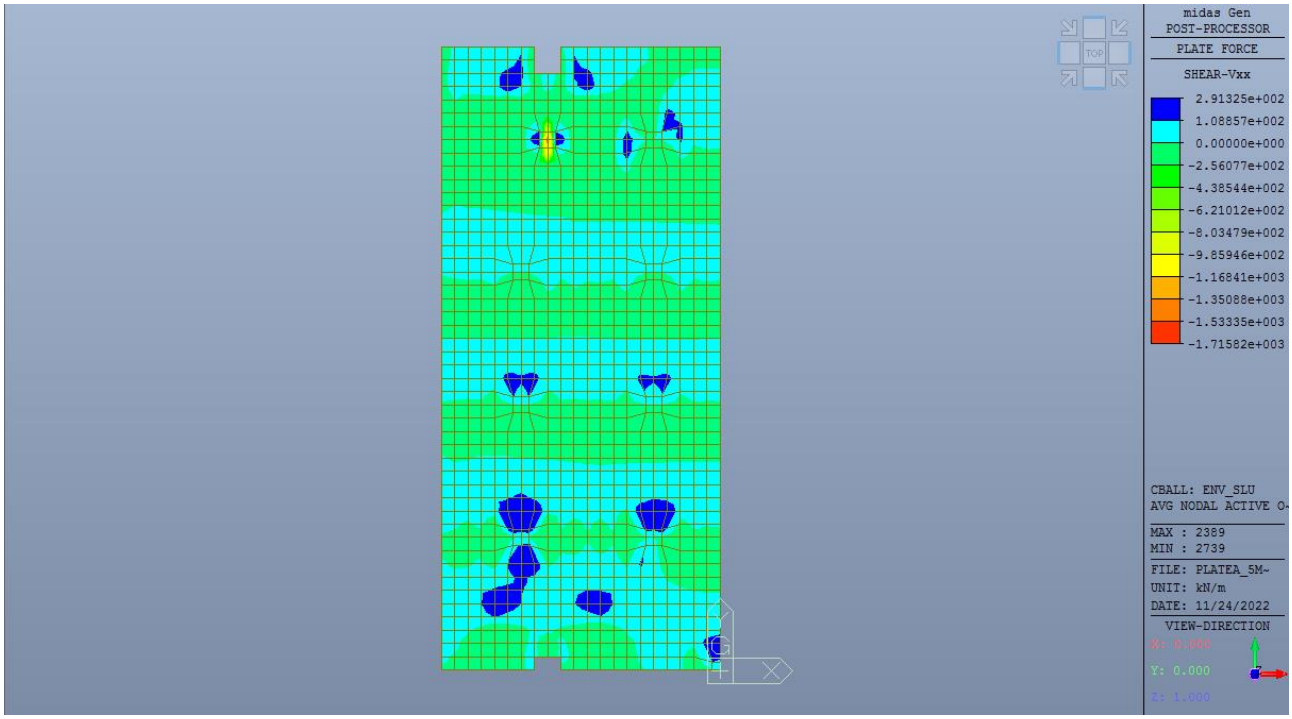


Figure 17 - V_{xx} Shears in ultimate SLU combination

V_{yy} Shear

The V_{xx} shears defined above in the ultimate SLU combination are illustrated in the diagram:

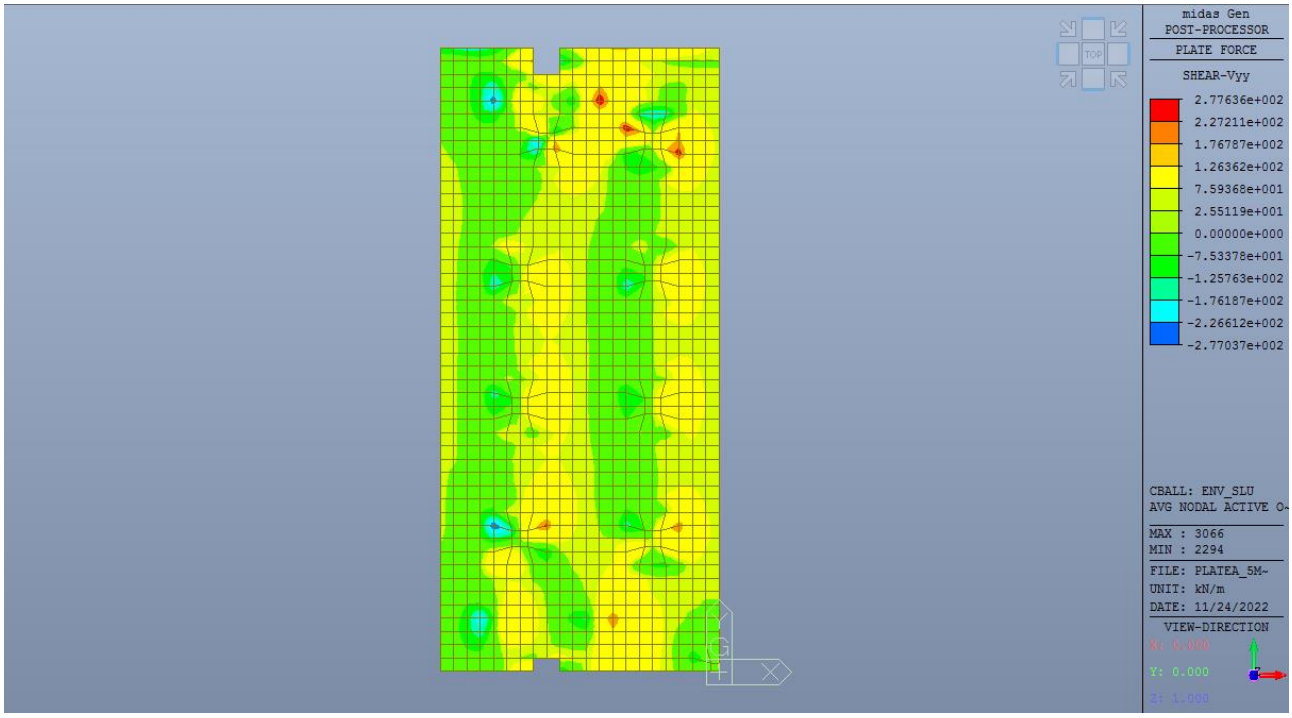


Figure 18 - V_{xx} Shears in ultimate SLU combination

8 VERIFICATIONS

The verifications of the important sections for the most unfavourable load combinations are reported here. The verification calculations are carried out with the method of the Limit States applying the NTC2018 and UNI EN 1992 (Eurocode 2) regulations.

8.1 Verifications at the ultimate limit state

The strength test concerning normal and bending stress is carried out by making sure that, in compliance with that which is provided in the paragraph 4.1.2.3.4.2 NTC2018:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) > M_{Ed}$$

where:

N_{Ed} project value of the normal stressing action;

M_{Rd} project value of the resistant moment corresponding to N_{Ed};

M_{Ed} project value of the demand moment.

The strength test of the shear stress action is carried out by controlling that:

$$V_{Rd} > V_{Ed}$$

In which:

V_{Ed} shear action computation value

V_{Rd} shear resistance value.

Concerning the elements without shear resistant transverse reinforcement, the resistance is calculated with the expression [4.1.23] NTC2018, while the expressions [4.1.27] and [4.1.28] are considered for the elements with shear resistant transverse reinforcement.

8.2 Verifications of the serviceability limit state

Deformation limit state

The deformation limits must be congruent with the performances demanded on the structure also in relation to the intended use, with reference to the static, functional and aesthetic requirements. The limit values must be proportional to specific requirements, and can be deducted from the technical documentation of proven validity.

Cracking limit state

In general terms, the cracking limit state must be defined according to the environmental conditions (Tab. 4.1.III NTC2018) and the corrosion sensibility of the reinforcement (Tab. 4.1.IV NTC2018).

Tab. 4.1.III – *Descrizione delle condizioni ambientali*

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Figure 19 - Tab. 4.1.III NTC2018

Tab. 4.1.IV - *Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione*

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Figure 20 - Tab. 4.1.IV NTC2018

Specifically, the "Requirement Group A" is considered, as well as "*Ordinary*" environmental conditions and "*Slightly sensitive*" reinforcement, whose nominal opening limit value of the cracking in frequent combination is equal to 0.4mm, while in nearly permanent combination the value is equal to 0.3mm, as defined in paragraph 4.1.2.2,4 of the NTC2018.

The characteristic amplitude of the cracks w_k is calculated as 1,7 times the product of the average deformation of the reinforcement bars ε_{sm} for the average distance between the cracks Δ_{sm}. Consolidated criteria are used, reported in documents of proven validity, for the calculation of ε_{sm} and Δ_{sm}.

Reassuming, the following limits are valid:

$$w_{k,\,frequent} <= w_3 = 0.4mm$$
$$w_{k,\,nearly\ permanent} <= w_2 = 0.3mm$$

Limit state of stress limitation

The maximum stresses in the concrete and reinforcement can be calculated when the internal actions in the several parts of the structure, due to the characteristic and nearly permanent combinations of the actions, have been estimated. In general terms, it must be verified that these stresses are lower than the maximum allowed values reported below:

$$\sigma_{c,\,max} \leq 0{,}60\ f_{ck} \quad \text{(for characteristic combination)}$$

$$\sigma_{c,\,max} \leq 0{,}45\ f_{ck} \quad \text{(for nearly permanent combination)}$$

For the reinforcement steel, the maximum stress must comply with the following limit:

$$\sigma_{s,\,max} \leq 0{,}80\ f_{yk} \quad \text{(for characteristic combination)}$$

8.3 Positive bending moments M_{xx}

The unit base cross-section and constant height of 40cm is reinforced according to:

- 1d16/20 + 1d12/20 upp. (tensioned)
- 1d16/20 low. (compressed)

The maximum stress calculation mediated on a one meter slab strip in the considered direction, according to Figure 21 , is equal to:

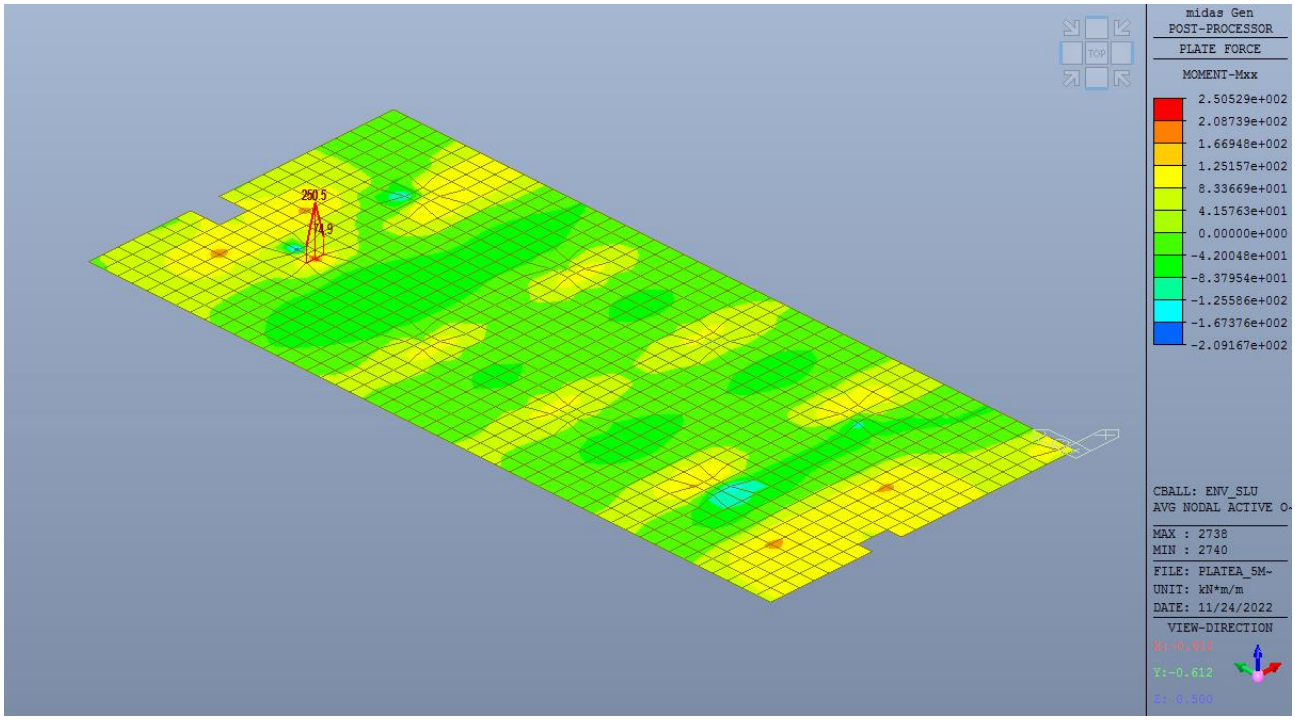
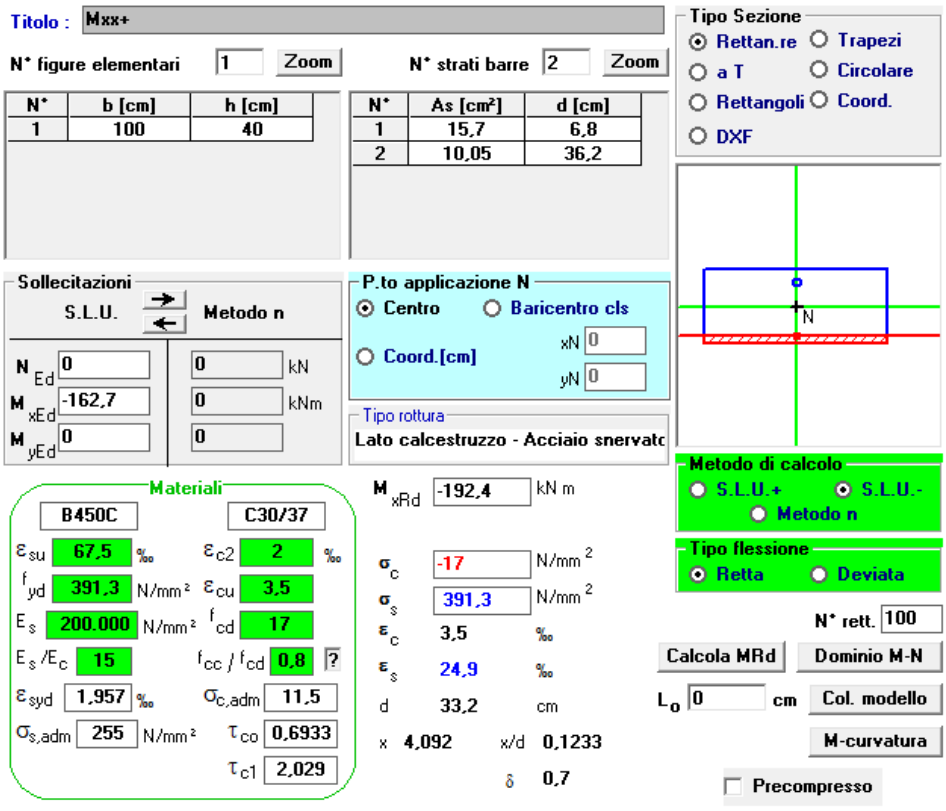


Figure 21 - Moment M_{xx+} verification

$M_{xx,\,Ed}$ = 162.7kNm/m

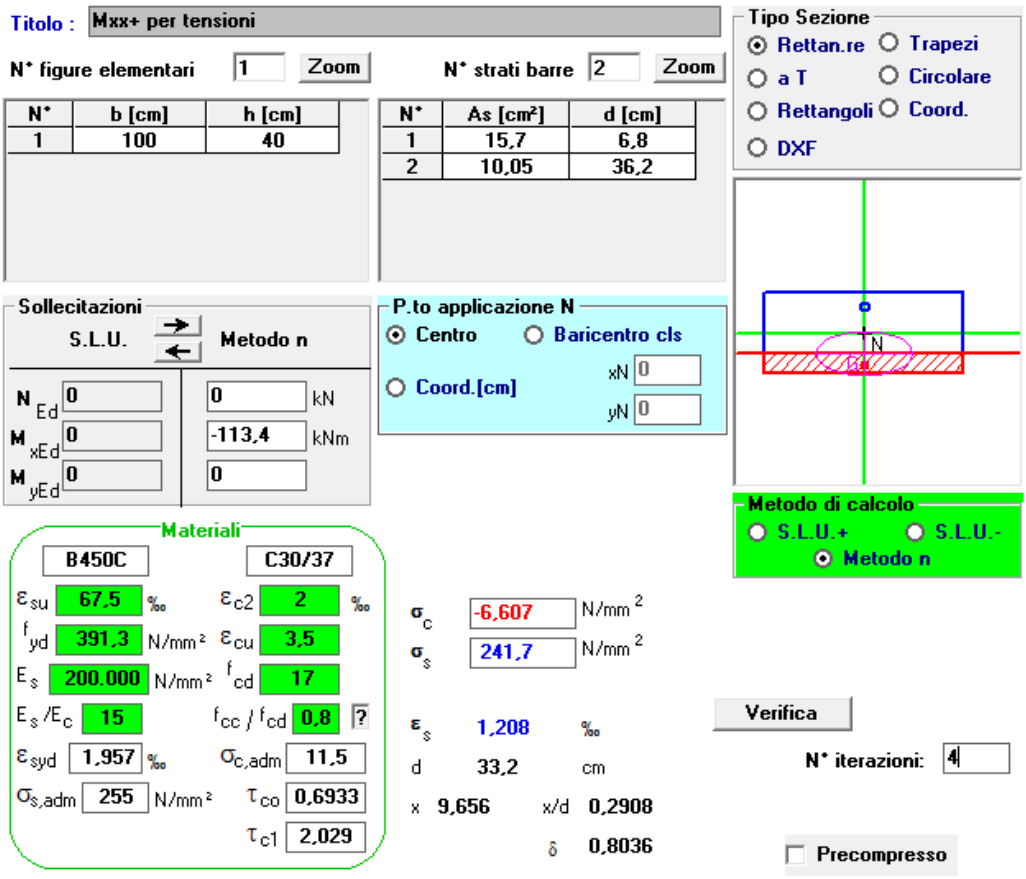
The strength verification output is:



One must verify in absolute value that:

$$M_{Rd} = 192.4kNm > 162.7kNm/m$$

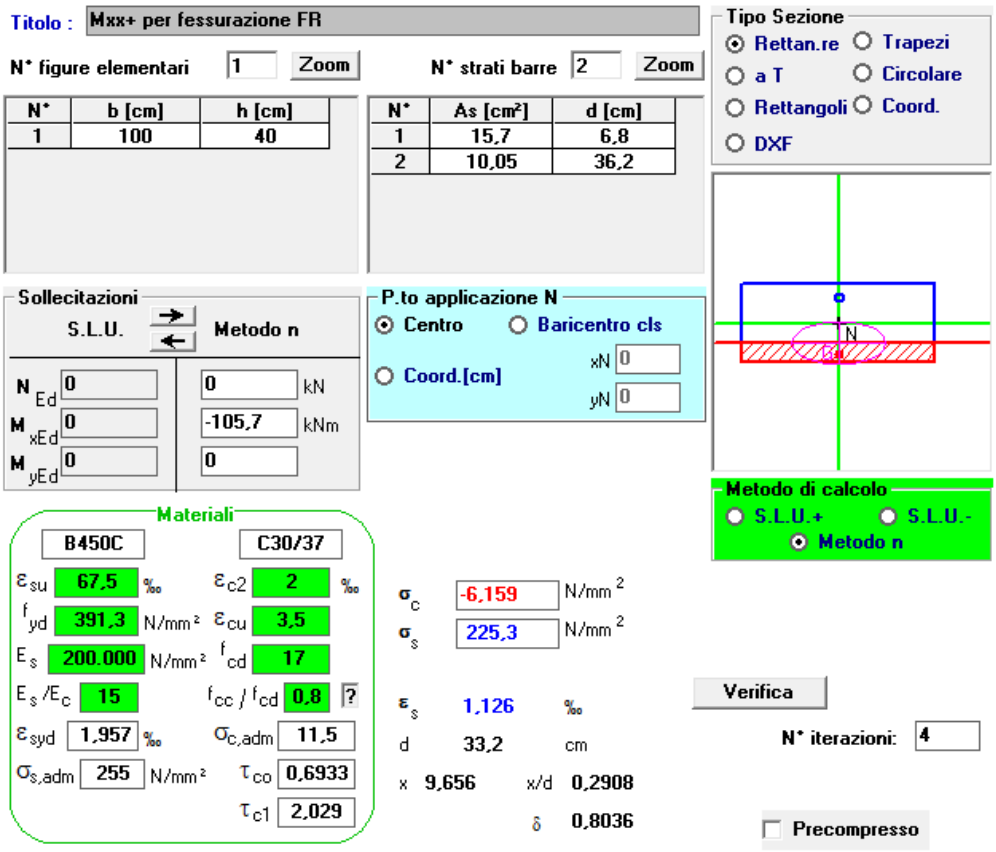
The strength test is satisfied.



The cautionary Rare serviceability SLE condition is only verified in the following more restrictive limits:

$$\sigma c = 6.61MPa < 13.82MPa$$
$$\sigma s = 241.70MPa < 360.0MPa$$

The stress test is satisfied.


Titolo : Mxx+ per fessurazione FR
N° figure elementari 1 Zoom
N° strati barre 2 Zoom
N° b [cm] h [cm]
1 100 40
N° As [cm²] d [cm]
1 15,7 6,8
2 10,05 36,2
Tipo Sezione
Rettan.re Trapezi
a T Circolare
Rettangoli Coord.
DXF
Sollecitazioni
S.L.U.
Metodo n
N Ed 0 0 kN
M xEd 0 -105,7 kNm
M yEd 0 0
P.to applicazione N
Centro Baricentro cls
Coord.[cm]
xN 0
yN 0
Materiali
B450C C30/37
εsu 67,5 ‰ εc2 2 ‰
fyd 391,3 N/mm² εcu 3,5
Es 200.000 N/mm² fcd 17
Es /Ec 15 fcc / fcd 0,8
εsyd 1,957 ‰ σc,adm 11,5
σs,adm 255 N/mm² τco 0,6933
τc1 2,029
Metodo di calcolo
S.L.U.+ S.L.U.-
Metodo n
σc -6,159 N/mm²
σs 225,3 N/mm²
εs 1,126 ‰
d 33,2 cm
x 9,656 x/d 0,2908
δ 0,8036
Verifica
N° iterazioni: 4
Precompresso

Geometria della sezione			
Altezza della sezione	h	400	[mm]
Larghezza della sezione	b	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	332	[mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d'	38	[mm]
Ricoprimento dell'armatura	c	60	[mm]
Armatura tesa ordinaria			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.1}$	7.81	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.1}$	16	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.1}$	1570	[mm^2]
Armatura tesa di infittimento			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.2}$	0	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.2}$	0	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.2}$	0	[mm^2]

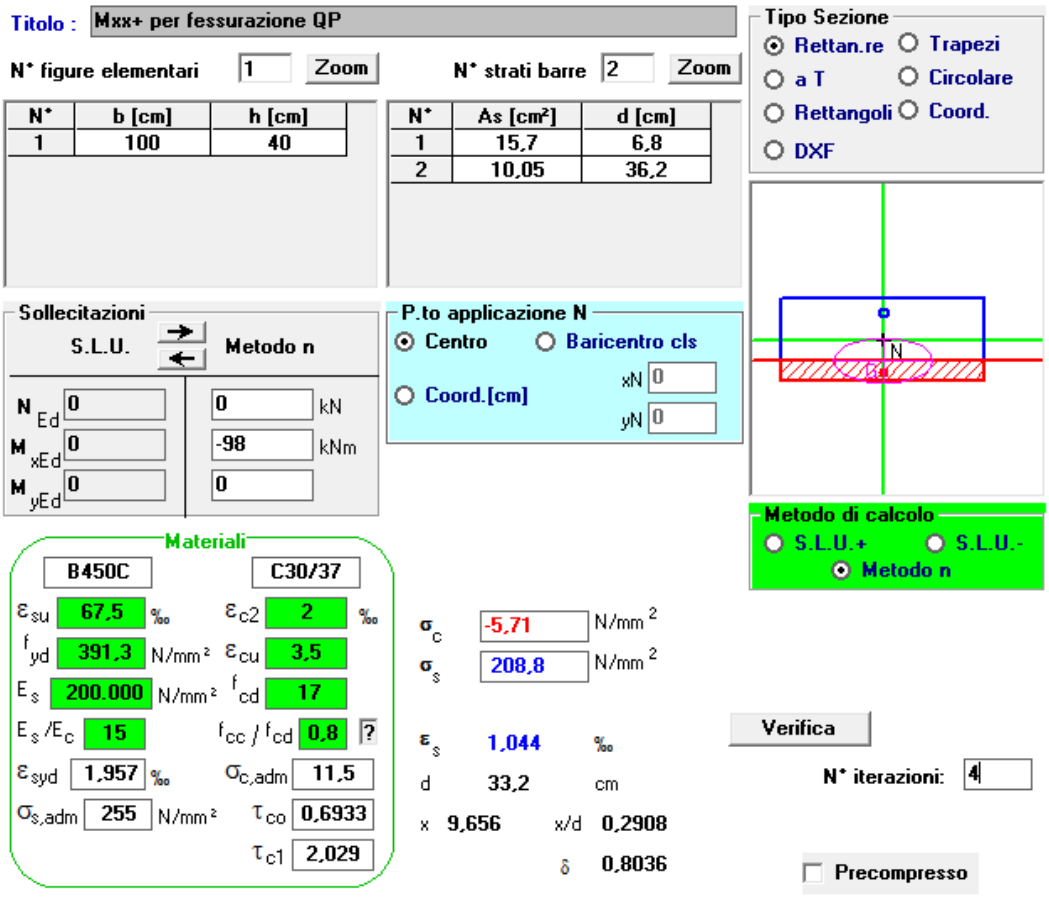
Caratteristiche dei materiali			
Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck}	37	[MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm}	3.3	[MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	34545	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s	210000	[MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE			
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	225.3	[MPa]
Asse neutro della sezione	x	96.56	[mm]
Tipo e durata dei carichi applicati		Breve	
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e	6.08	[-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s	1570	[mm^2]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff.1}$	170000	[mm^2]
	$A_{c,eff.2}$	101147	[mm^2]
	$A_{c,eff.3}$	200000	[mm^2]
	$A_{c,eff.min}$	101147	[mm^2]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0.01552	[-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	3.3	[MPa]
Fattore di durata del carico	k_t	0.6	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{min}$	0.000644	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{calc.}$	0.000402	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]$	**0.000644**	**[-]**
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	200	[mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq}	16.00	[mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	340	[mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1	0.800	[-]
	k_2	0.500	[-]
	k_3	3.400	[-]
	k_4	0.425	[-]
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max.1}$	379	[mm]
	$s_{r,max.2}$	394	[mm]
	$s_{r,max}$	**379**	**[mm]**
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k.lim}$	0.40	[mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	**w_k**	**0.24**	**[mm]**

One must verify that:

$$w_k = 0.24\text{mm} < 0.40\text{mm}$$

The cracking verification in ordinary atmosphere is satisfied.


Titolo : Mxx+ per fessurazione QP
N° figure elementari 1 Zoom
N° strati barre 2 Zoom
N° b [cm] h [cm]
1 100 40
N° As [cm²] d [cm]
1 15,7 6,8
2 10,05 36,2
Tipo Sezione
Rettan.re Trapezi
a T Circolare
Rettangoli Coord.
DXF
Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n
N Ed 0 0 kN
M xEd 0 -98 kNm
M yEd 0 0
P.to applicazione N
Centro Baricentro cls
Coord.[cm]
xN 0
yN 0
N
Metodo di calcolo
S.L.U.+ S.L.U.-
Metodo n
Materiali
B450C C30/37
ε su 67,5 ‰ ε c2 2 ‰
f yd 391,3 N/mm² ε cu 3,5
E s 200.000 N/mm² f cd 17
E s /E c 15 f cc / f cd 0,8 ?
ε syd 1,957 ‰ σ c,adm 11,5
σ s,adm 255 N/mm² τ co 0,6933
τ c1 2,029
σ c -5,71 N/mm²
σ s 208,8 N/mm²
ε s 1,044 ‰
d 33,2 cm
x 9,656 x/d 0,2908
δ 0,8036
Verifica
N° iterazioni: 4
Precompresso

Geometria della sezione			
Altezza della sezione	h	400	[mm]
Larghezza della sezione	b	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	332	[mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d'	38	[mm]
Ricoprimento dell'armatura	c	60	[mm]
Armatura tesa ordinaria			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.1}$	7.81	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.1}$	16	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.1}$	1570	[mm^2]
Armatura tesa di infittimento			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.2}$	0	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.2}$	0	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.2}$	0	[mm^2]

Caratteristiche dei materiali			
Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck}	37	[MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm}	3.3	[MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	34545	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s	210000	[MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE			
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	208.8	[MPa]
Asse neutro della sezione	x	96.56	[mm]
Tipo e durata dei carichi applicati		Breve	
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e	6.08	[-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s	1570	[mm^2]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff.1}$	170000	[mm^2]
	$A_{c,eff.2}$	101147	[mm^2]
	$A_{c,eff.3}$	200000	[mm^2]
	$A_{c,eff.min}$	101147	[mm^2]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0.01552	[-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	3.3	[MPa]
Fattore di durata del carico	k_t	0.6	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{min}$	0.000597	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{calc.}$	0.000323	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]$	**0.000597**	**[-]**
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	200	[mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq}	16.00	[mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	340	[mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1	0.800	[-]
	k_2	0.500	[-]
	k_3	3.400	[-]
	k_4	0.425	[-]
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max.1}$	379	[mm]
	$s_{r,max.2}$	394	[mm]
	$s_{r,max}$	**379**	**[mm]**
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k.lim}$	0.30	[mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	**w_k**	**0.23**	**[mm]**

One must verify that:

$$w_k = 0.23mm < 0.30mm$$

The cracking verification in ordinary atmosphere is satisfied.

8.4 Negative bending moments M_{xx}

The unit base cross-section and constant height of 40cm is reinforced according to:

- 1d16/20 upp. (compressed)
- 1d16/20 low. (tensioned)

The maximum stress calculation mediated on a one meter slab strip in the considered direction, in agreement with Figure 22 , is equal to:

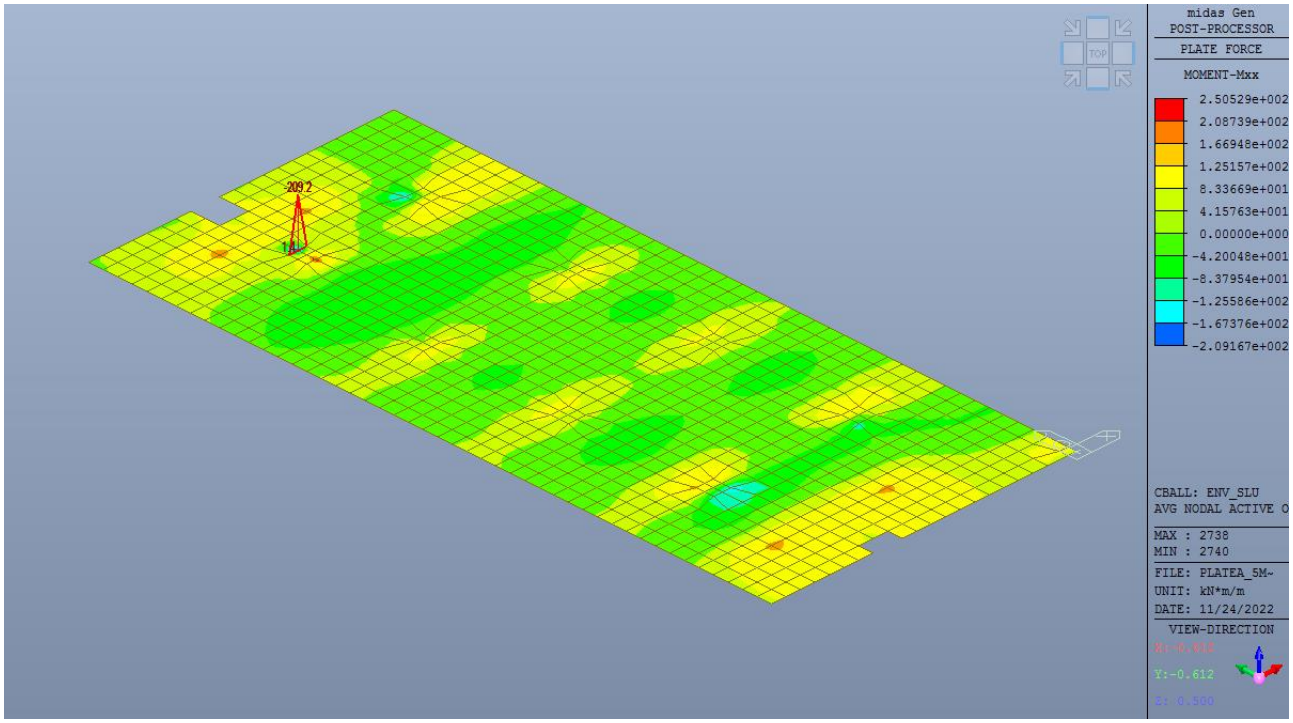
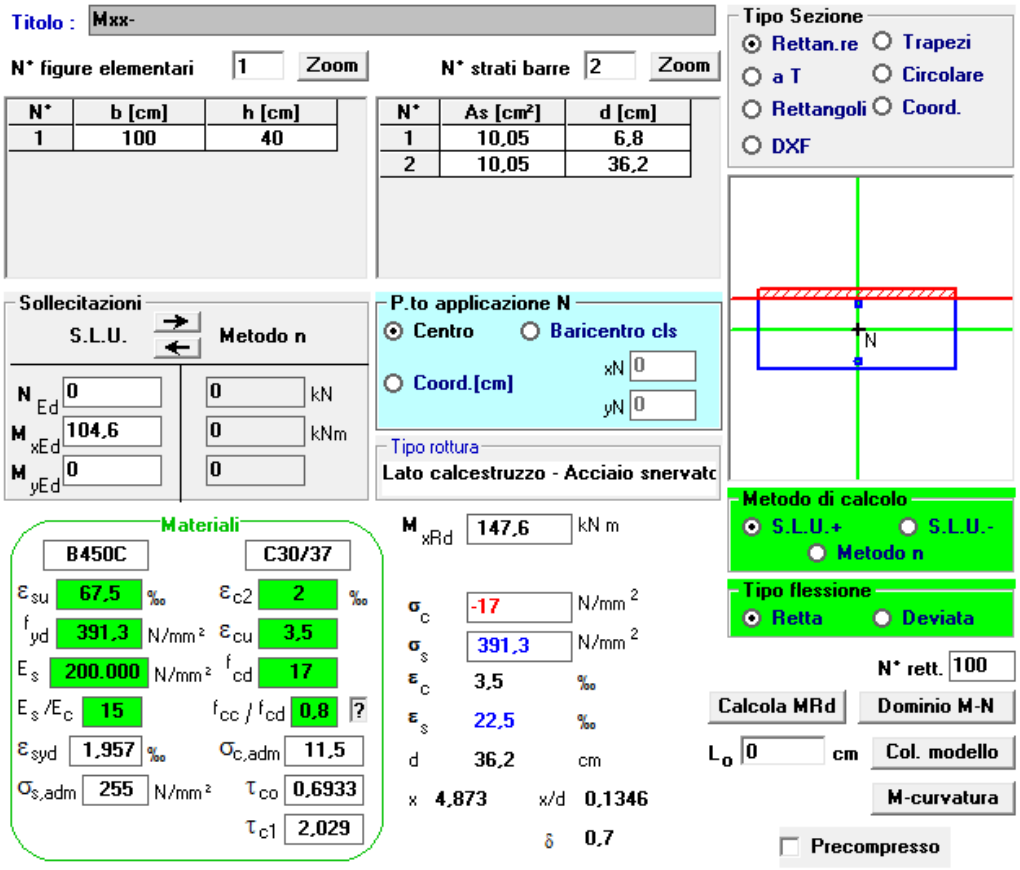


Figure 22 - M_{xx} - Moment verification

$M_{xx,Ed}$ = 104.6kNm/m

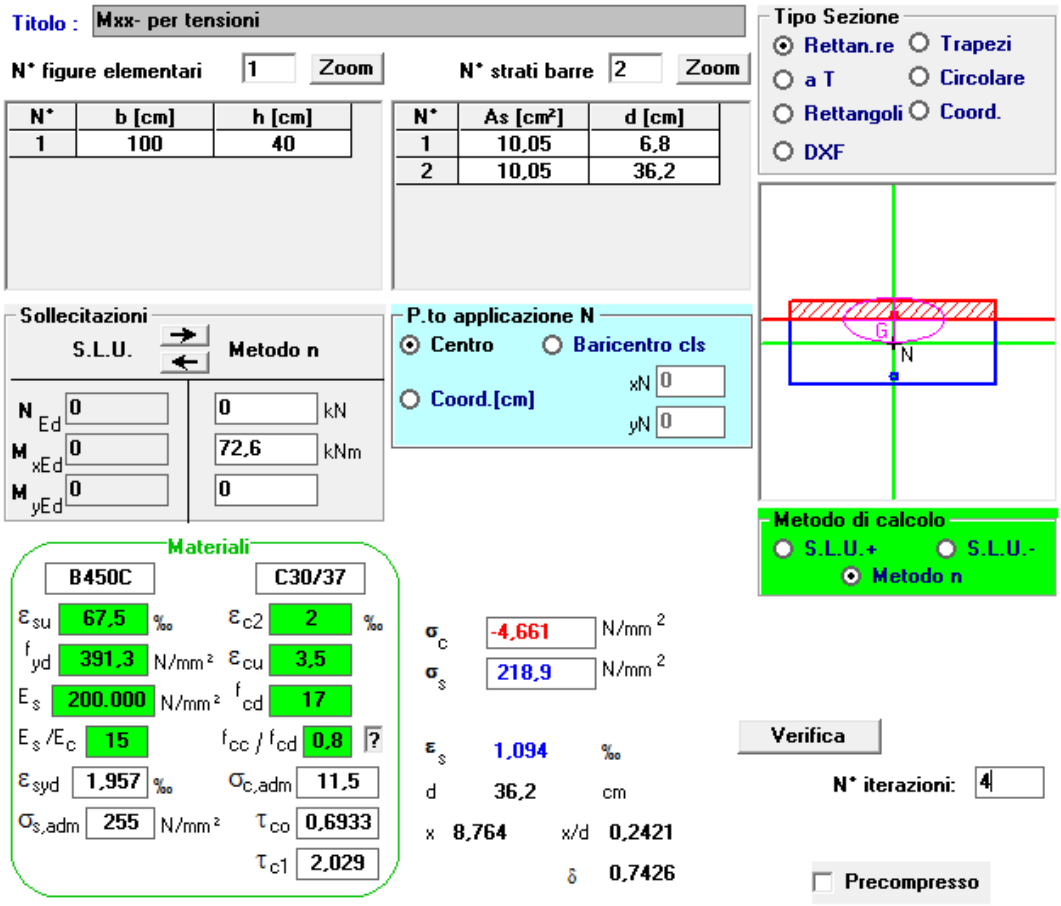
The strength test output is:



One must verify that:

M_{Rd} = 147.6kNm > 104.6kNm/m

The strength test is satisfied.



The cautionary Rare serviceability SLE condition is only verified in the following more restrictive limits:

$$\sigma c = 4.66MPa < 13.82MPa$$
$$\sigma s = 218.90MPa < 360.0MPa$$

The stress verification is satisfied.

Titolo : Mxx- per fessurazione FR

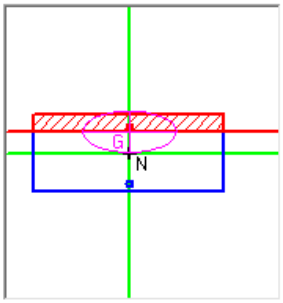
N° figure elementari 1 Zoom

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10,05	6,8
2	10,05	36,2

Tipo Sezione
- (•) Rettan.re ( ) Trapezi
- ( ) a T ( ) Circolare
- ( ) Rettangoli ( ) Coord.
- ( ) DXF



Sollecitazioni
S.L.U. → ← Metodo n

N_{Ed}	0	0	kN
M_{xEd}	0	67,4	kNm
M_{yEd}	0	0	

P.to applicazione N
- (•) Centro ( ) Baricentro cls
- ( ) Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo
- ( ) S.L.U.+ ( ) S.L.U.-
- (•) Metodo n

Materiali

	B450C		C30/37	
ε_{su}	67,5	‰	ε_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391,3	N/mm²	ε_{cu}	3,5
E_s	200.000	N/mm²	f_{cd}	17
E_s/E_c	15		f_{cc}/f_{cd}	0,8 ?
ε_{syd}	1,957	‰	$\sigma_{c,adm}$	11,5
$\sigma_{s,adm}$	255	N/mm²	τ_{co}	0,6933
			τ_{c1}	2,029

σ_c	-4,327	N/mm²
σ_s	203,2	N/mm²
ε_s	1,016	‰
d	36,2	cm
x	8,764	x/d 0,2421
		δ 0,7426

Verifica

N° iterazioni: 4

☐ Precompresso

Geometria della sezione			
Altezza della sezione	h	400	[mm]
Larghezza della sezione	b	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	332	[mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d'	38	[mm]
Ricoprimento dell'armatura	c	60	[mm]
Armatura tesa ordinaria			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.1}$	5	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.1}$	16	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.1}$	1005	[mm^2]
Armatura tesa di infittimento			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.2}$	0	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.2}$	0	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.2}$	0	[mm^2]

Caratteristiche dei materiali			
Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck}	37	[MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm}	3.3	[MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	34545	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s	210000	[MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE			
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	203.2	[MPa]
Asse neutro della sezione	x	87.64	[mm]
Tipo e durata dei carichi applicati		Breve	
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e	6.08	[-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s	1005	[mm^2]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff.1}$	170000	[mm^2]
	$A_{c,eff.2}$	104120	[mm^2]
	$A_{c,eff.3}$	200000	[mm^2]
	$A_{c,eff.min}$	104120	[mm^2]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0.00966	[-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	3.3	[MPa]
Fattore di durata del carico	k_t	0.6	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{min}$	0.000581	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{calc.}$	-0.000076	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]$	**0.000581**	**[-]**
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	200	[mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq}	16.00	[mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	340	[mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1	0.800	[-]
	k_2	0.500	[-]
	k_3	3.400	[-]
	k_4	0.425	[-]
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max.1}$	486	[mm]
	$s_{r,max.2}$	406	[mm]
	$s_{r,max}$	**486**	**[mm]**
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k.lim}$	0.40	[mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	**w_k**	**0.28**	**[mm]**

One must verify that:

$$w_k = 0.28mm < 0.40mm$$

The cracking verification in ordinary atmosphere is satisfied.

Titolo : Mxx- per fessurazione QP

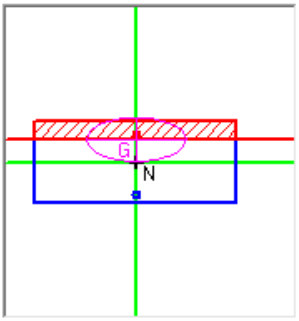
N° figure elementari 1 Zoom

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10,05	6,8
2	10,05	36,2

Tipo Sezione
- (•) Rettan.re
- ( ) Trapezi
- ( ) a T
- ( ) Circolare
- ( ) Rettangoli
- ( ) Coord.
- ( ) DXF



Sollecitazioni — S.L.U. — Metodo n

N_{Ed}	0	0	kN
M_{xEd}	0	62,3	kNm
M_{yEd}	0	0	

P.to applicazione N
- (•) Centro
- ( ) Baricentro cls
- ( ) Coord.[cm]

xN 0
yN 0

Metodo di calcolo
- ( ) S.L.U.+
- ( ) S.L.U.-
- (•) Metodo n

Materiali

B450C		C30/37	
ε_{su}	67,5 ‰	ε_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391,3 N/mm²	ε_{cu}	3,5
E_s	200.000 N/mm²	f_{cd}	17
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0,8 ?
ε_{syd}	1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	11,5
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	τ_{co}	0,6933
		τ_{c1}	2,029

σ_c	-4 N/mm²		
σ_s	187,8 N/mm²		
ε_s	0,9392 ‰		
d	36,2 cm		
x	8,764	x/d	0,2421
		δ	0,7426

Verifica

N° iterazioni: 4

☐ Precompresso

Geometria della sezione			
Altezza della sezione	h	400	[mm]
Larghezza della sezione	b	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	332	[mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d'	38	[mm]
Ricoprimento dell'armatura	c	60	[mm]
Armatura tesa ordinaria			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.1}$	5	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.1}$	16	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.1}$	1005	[mm^2]
Armatura tesa di infittimento			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.2}$	0	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.2}$	0	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.2}$	0	[mm^2]

Caratteristiche dei materiali			
Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck}	37	[MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm}	3.3	[MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	34545	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s	210000	[MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE			
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	187.8	[MPa]
Asse neutro della sezione	x	87.64	[mm]
Tipo e durata dei carichi applicati		Breve	
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e	6.08	[-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s	1005	[mm^2]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff.1}$	170000	[mm^2]
	$A_{c,eff.2}$	104120	[mm^2]
	$A_{c,eff.3}$	200000	[mm^2]
	$A_{c,eff.min}$	104120	[mm^2]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0.00966	[-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	3.3	[MPa]
Fattore di durata del carico	k_t	0.6	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{min}$	0.000537	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{calc.}$	-0.000149	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]$	**0.000537**	**[-]**
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	200	[mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq}	16.00	[mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	340	[mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1	0.800	[-]
	k_2	0.500	[-]
	k_3	3.400	[-]
	k_4	0.425	[-]
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max.1}$	486	[mm]
	$s_{r,max.2}$	406	[mm]
	$s_{r,max}$	**486**	**[mm]**
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k.lim}$	0.30	[mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	**w_k**	**0.26**	**[mm]**

One must verify that:

$$w_k = 0.26mm < 0.30mm$$

The cracking verification in ordinary atmosphere is satisfied.

8.5 Positive bending moments M_{yy}

The unit base cross-section and constant height of 40cm is reinforced according to:

- 1d16/20 + 1d16/20 upp. (tensioned)
- 1d16/20 low. (compressed)

The maximum calculation stress mediated on a one meter slab strip in the considered direction, in agreement with Figure 23 , is equal to:

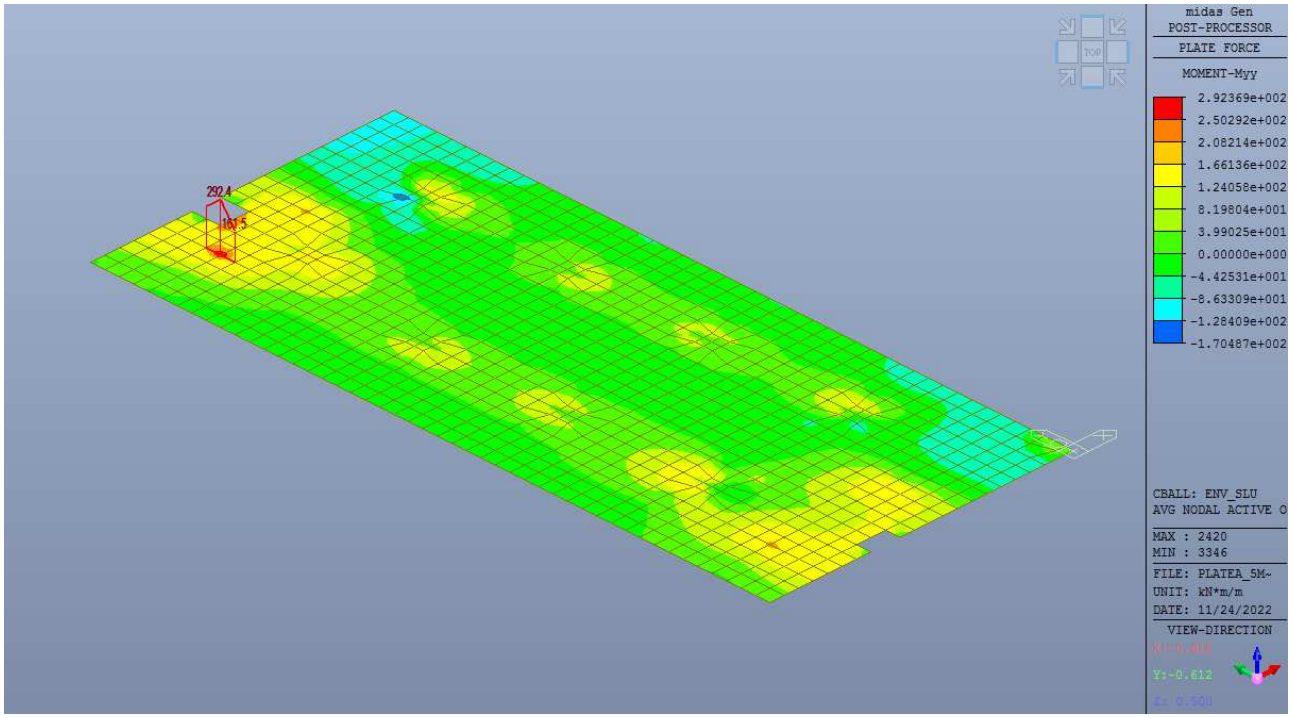
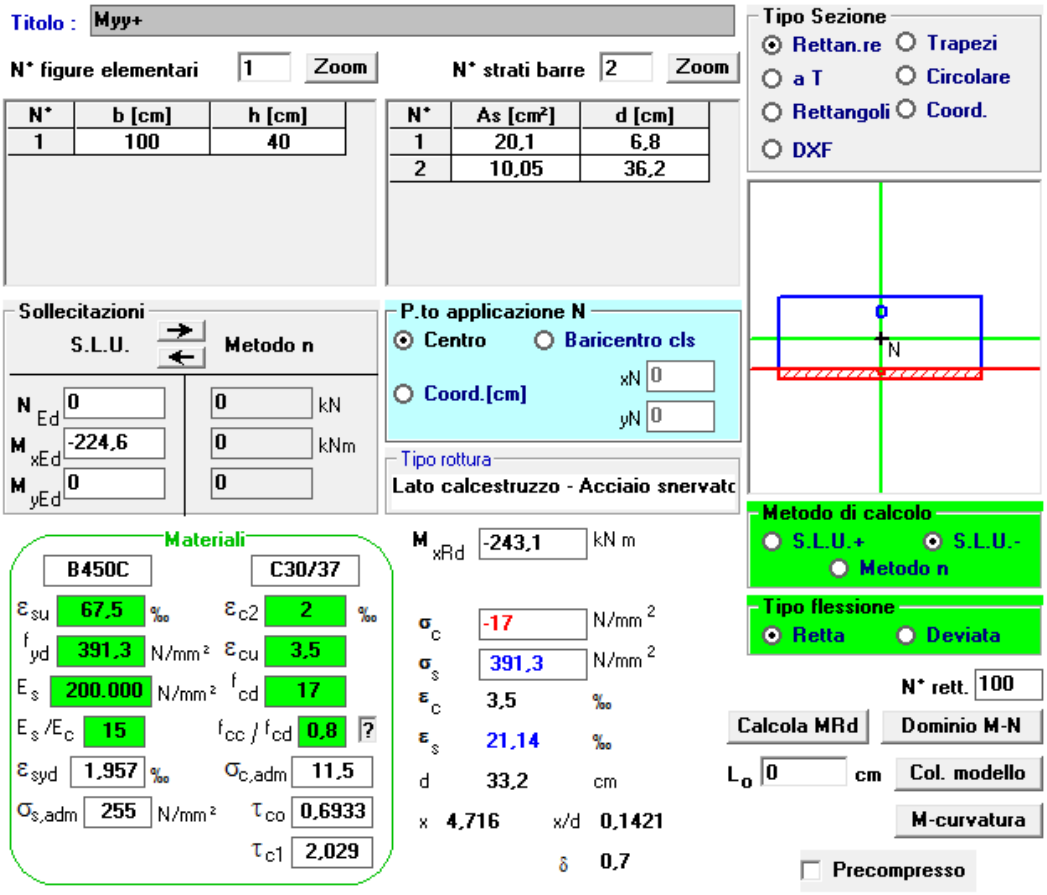


Figure 23 - M_{yy+} moment verification

$M_{yy,Ed}$ = 224.6kNm/m

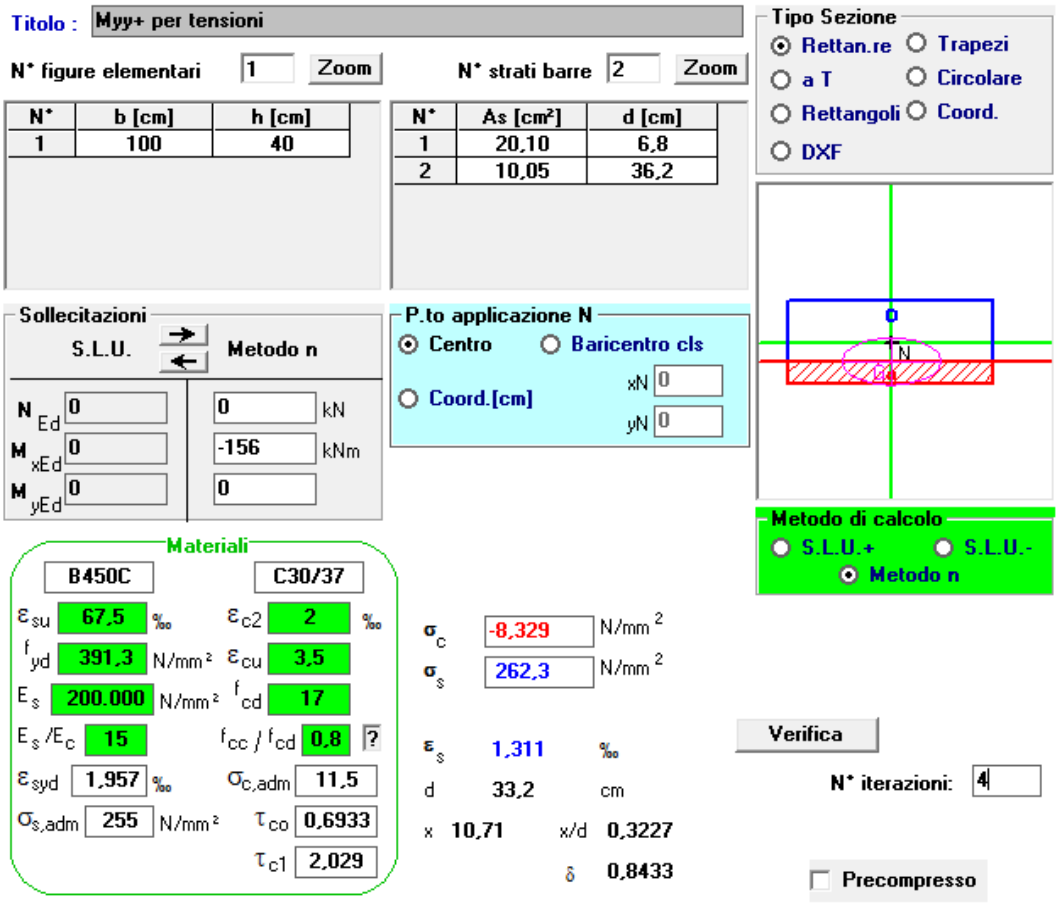
The strength test output is:



One must verify that:

$$M_{Rd} = 243.1kNm > 224.6kNm/m$$

The strength test is satisfied.



The cautionary Rare serviceability SLE condition is only verified in the following more restrictive limits:

σc = 8.33MPa < 13.82MPa
σs = 262.30MPa < 360.0MPa

The stress verification is satisfied.

Titolo : Myy+ per fessurazione FR

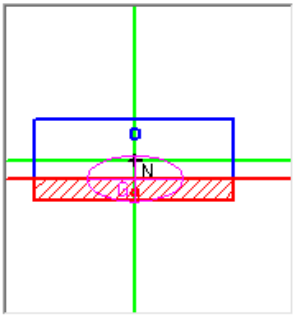
N° figure elementari 1 Zoom

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	20,10	6,8
2	10,05	36,2

Tipo Sezione
- (•) Rettan.re ( ) Trapezi
- ( ) a T ( ) Circolare
- ( ) Rettangoli ( ) Coord.
- ( ) DXF



Sollecitazioni — S.L.U. — Metodo n

N_{Ed}	0	0	kN
M_{xEd}	0	-145,9	kNm
M_{yEd}	0	0	

P.to applicazione N
- (•) Centro ( ) Baricentro cls
- ( ) Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo
- ( ) S.L.U.+ ( ) S.L.U.-
- (•) Metodo n

Materiali

B450C			C30/37	
ε_{su}	67,5	‰	ε_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391,3	N/mm²	ε_{cu}	3,5
E_s	200.000	N/mm²	f_{cd}	17
E_s/E_c	15		f_{cc}/f_{cd}	0,8 ?
ε_{syd}	1,957	‰	$\sigma_{c,adm}$	11,5
$\sigma_{s,adm}$	255	N/mm²	τ_{co}	0,6933
			τ_{c1}	2,029

σ_c	-7,79	N/mm²
σ_s	245,3	N/mm²
ε_s	1,226	‰
d	33,2	cm
x	10,71	x/d 0,3227
		δ 0,8433

Verifica

N° iterazioni: 4

☐ Precompresso

Geometria della sezione			
Altezza della sezione	h	400	[mm]
Larghezza della sezione	b	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	332	[mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d'	38	[mm]
Ricoprimento dell'armatura	c	60	[mm]
Armatura tesa ordinaria			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.1}$	10	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.1}$	16	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.1}$	2011	[mm^2]
Armatura tesa di infittimento			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.2}$	0	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.2}$	0	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.2}$	0	[mm^2]

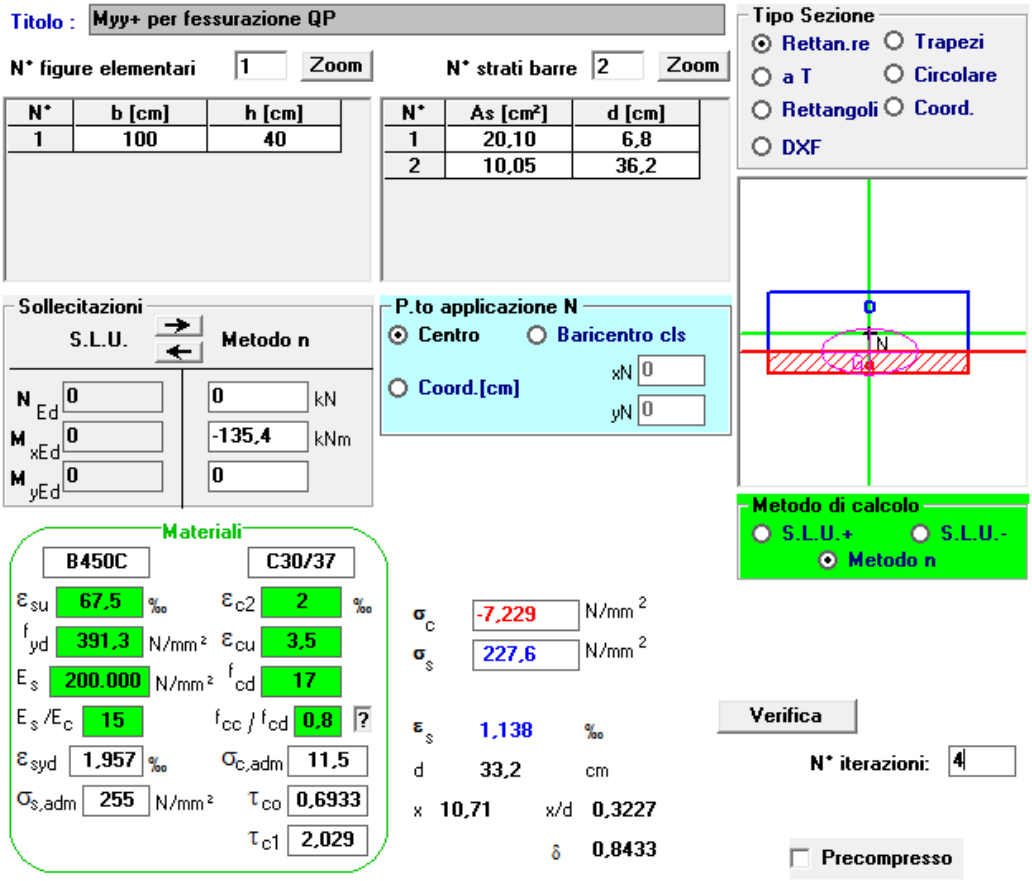
Caratteristiche dei materiali			
Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck}	37	[MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm}	3.3	[MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	34545	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s	210000	[MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE			
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	245.3	[MPa]
Asse neutro della sezione	x	107.1	[mm]
Tipo e durata dei carichi applicati		Breve	
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e	6.08	[-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s	2011	[mm^2]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff.1}$	170000	[mm^2]
	$A_{c,eff.2}$	97633	[mm^2]
	$A_{c,eff.3}$	200000	[mm^2]
	$A_{c,eff.min}$	97633	[mm^2]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0.02059	[-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	3.3	[MPa]
Fattore di durata del carico	k_t	0.6	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{min}$	0.000701	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{calc.}$	0.000648	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]$	**0.000701**	**[-]**
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	200	[mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq}	16.00	[mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	340	[mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1	0.800	[-]
	k_2	0.500	[-]
	k_3	3.400	[-]
	k_4	0.425	[-]
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max.1}$	336	[mm]
	$s_{r,max.2}$	381	[mm]
	$s_{r,max}$	**336**	**[mm]**
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k.lim}$	0.40	[mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	**w_k**	**0.24**	**[mm]**

One must verify that:

$$w_k = 0.24\text{mm} < 0.40\text{mm}$$

The cracking verification in ordinary atmosphere is satisfied.



Geometria della sezione			
Altezza della sezione	h	400	[mm]
Larghezza della sezione	b	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	332	[mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d'	38	[mm]
Ricoprimento dell'armatura	c	60	[mm]
Armatura tesa ordinaria			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.1}$	10	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.1}$	16	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.1}$	2011	[mm^2]
Armatura tesa di infittimento			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.2}$	0	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.2}$	0	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.2}$	0	[mm^2]

Caratteristiche dei materiali			
Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck}	37	[MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm}	3.3	[MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	34545	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s	210000	[MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE			
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	227.6	[MPa]
Asse neutro della sezione	x	107.1	[mm]
Tipo e durata dei carichi applicati		Breve	
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e	6.08	[-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s	2011	[mm^2]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff.1}$	170000	[mm^2]
	$A_{c,eff.2}$	97633	[mm^2]
	$A_{c,eff.3}$	200000	[mm^2]
	$A_{c,eff.min}$	97633	[mm^2]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0.02059	[-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	3.3	[MPa]
Fattore di durata del carico	k_t	0.6	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{min}$	0.000650	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{calc.}$	0.000564	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]$	**0.000650**	**[-]**
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	200	[mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq}	16.00	[mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	340	[mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1	0.800	[-]
	k_2	0.500	[-]
	k_3	3.400	[-]
	k_4	0.425	[-]
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max.1}$	336	[mm]
	$s_{r,max.2}$	381	[mm]
	$s_{r,max}$	**336**	**[mm]**
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k.lim}$	0.30	[mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	**w_k**	**0.22**	**[mm]**

One must verify that:

$$w_k = 0.22mm < 0.30mm$$

The cracking verification in ordinary atmosphere is satisfied.

8.6 Negative bending moments M_{yy}

The unit base cross-section and constant height of 40cm is reinforced according to:

- 1d16/20 upp. (compressed)
- 1d16/20 low. (tensioned)

The maximum calculation stress mediated on a one meter slab strip in the considered direction, in agreement with Figure 24 , is equal to:

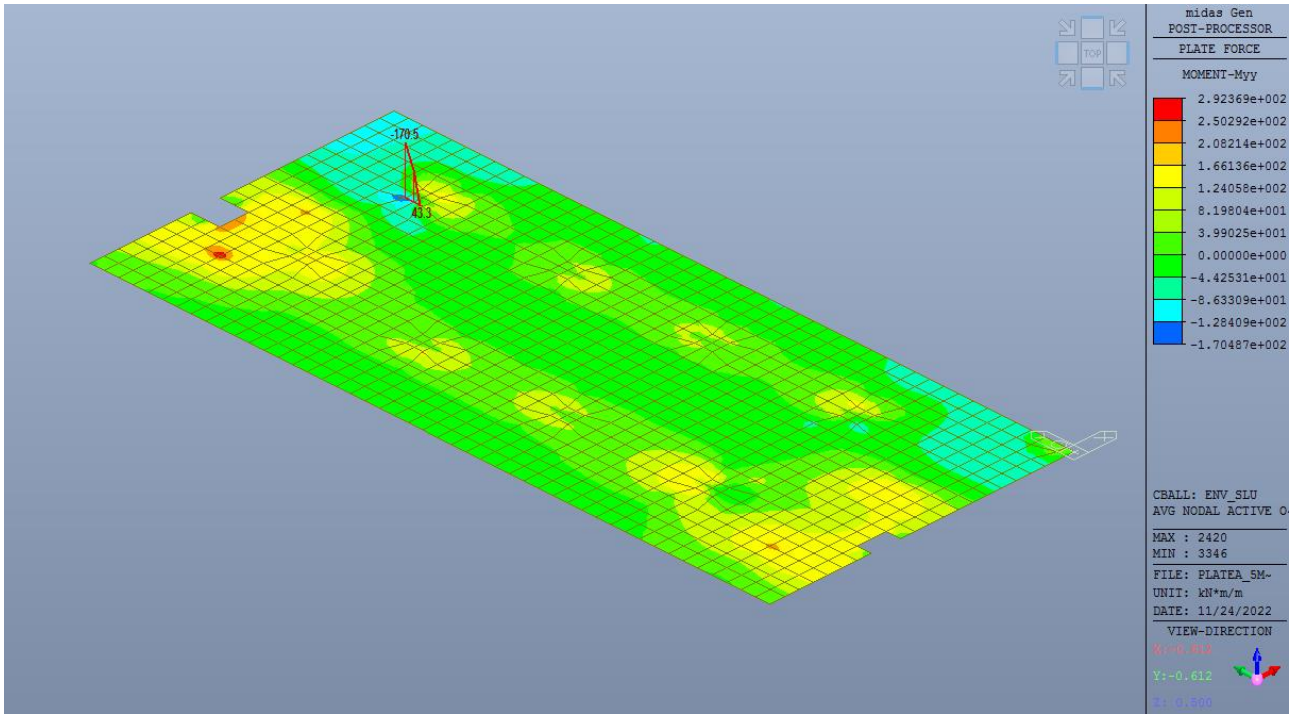
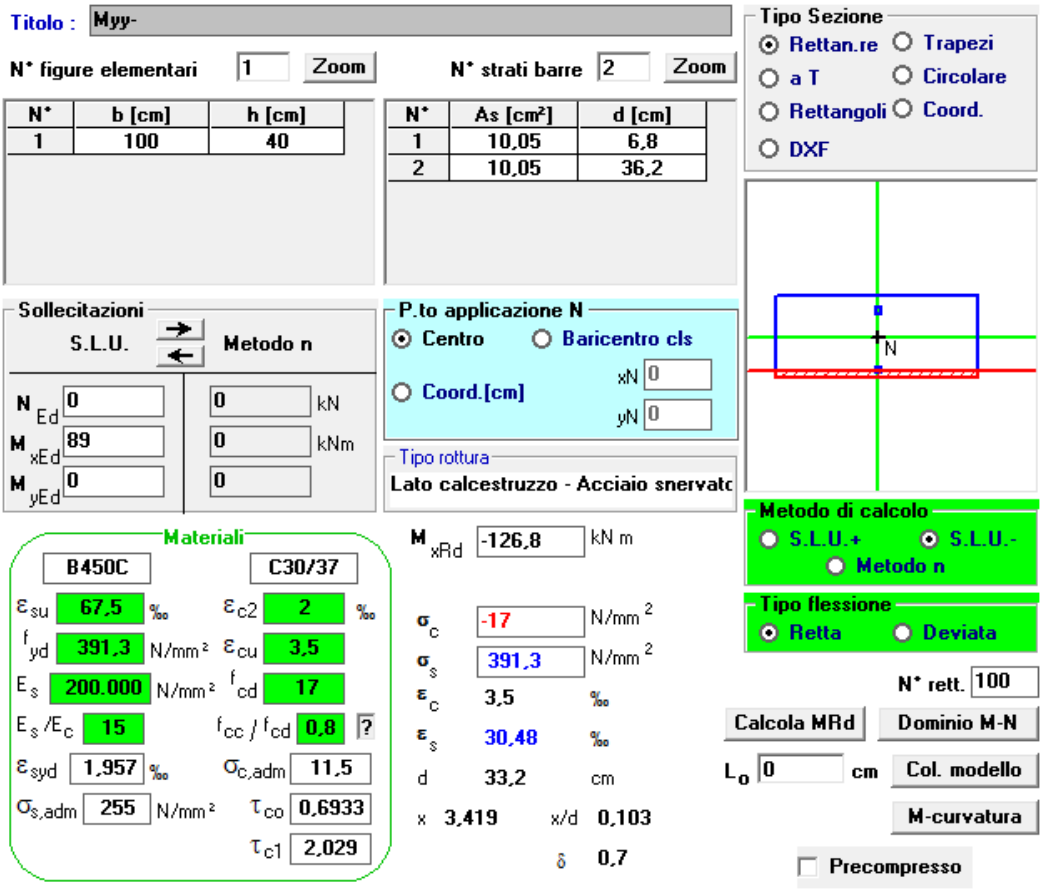


Figure 24 - Moment M_{yy} of verification

$M_{yy,Ed}$ = 89.0kNm/m

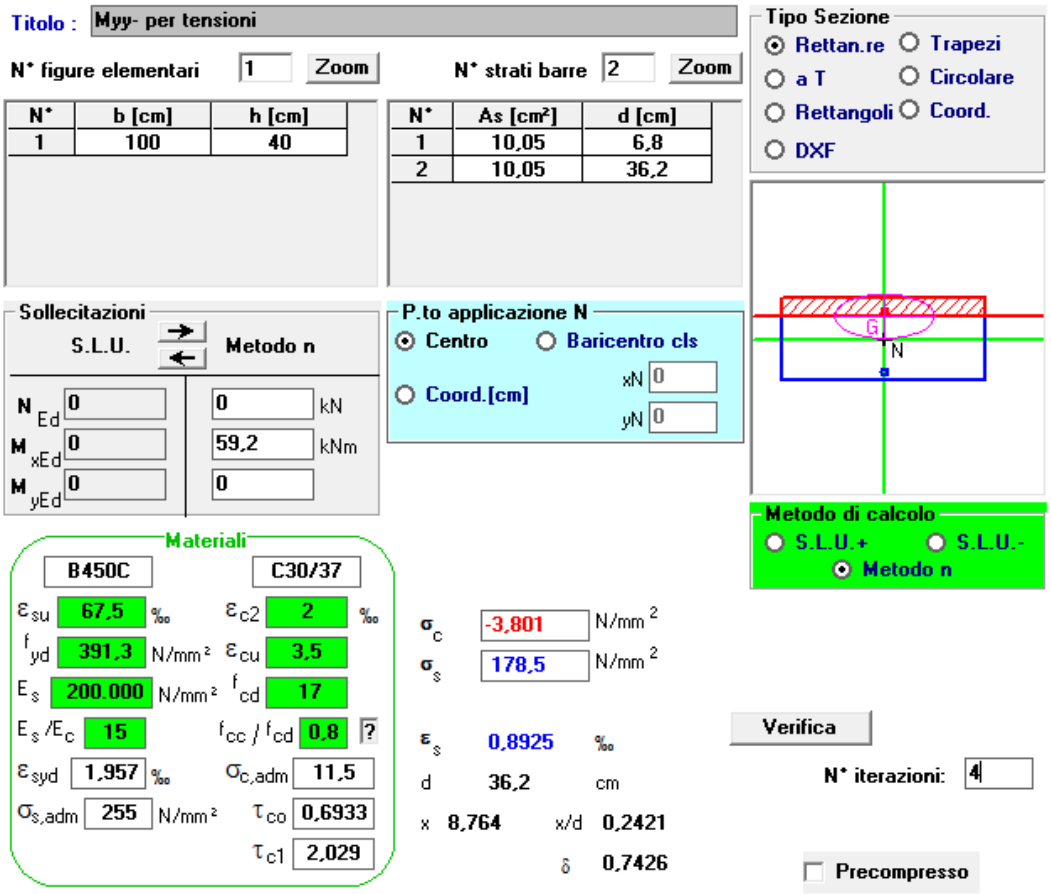
The strength test output is:



One must verify that:

$$M_{Rd} = 126.8kNm > 89.0kNm/m$$

The strength test is satisfied.



The cautionary Rare serviceability SLE condition is only verified in the following more restrictive limits:

σc = 3.80MPa < 13.82MPa
σs = 178.50MPa < 360.0MPa

The stress verification is satisfied.

Titolo : Myy- per fessurazione FR

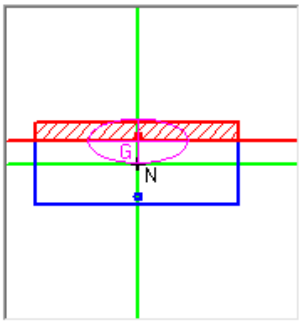
N° figure elementari 1 Zoom

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10,05	6,8
2	10,05	36,2

Tipo Sezione
- (•) Rettan.re
- ( ) Trapezi
- ( ) a T
- ( ) Circolare
- ( ) Rettangoli
- ( ) Coord.
- ( ) DXF



Sollecitazioni — S.L.U. — Metodo n

N_{Ed}	0	0 kN
M_{xEd}	0	55,1 kNm
M_{yEd}	0	0

P.to applicazione N
- (•) Centro
- ( ) Baricentro cls
- ( ) Coord.[cm]

xN 0
yN 0

Metodo di calcolo
- ( ) S.L.U.+
- ( ) S.L.U.-
- (•) Metodo n

Materiali

B450C		C30/37	
ε_{su}	67,5 ‰	ε_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391,3 N/mm²	ε_{cu}	3,5
E_s	200.000 N/mm²	f_{cd}	17
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0,8 ?
ε_{syd}	1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	11,5
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	τ_{co}	0,6933
		τ_{c1}	2,029

σ_c	-3,538 N/mm²		
σ_s	166,1 N/mm²		
ε_s	0,8307 ‰		
d	36,2 cm		
x	8,764	x/d	0,2421
		δ	0,7426

Verifica

N° iterazioni: 4

☐ Precompresso

Geometria della sezione			
Altezza della sezione	h	400	[mm]
Larghezza della sezione	b	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	332	[mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d'	38	[mm]
Ricoprimento dell'armatura	c	60	[mm]
Armatura tesa ordinaria			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.1}$	5	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.1}$	16	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.1}$	1005	[mm^2]
Armatura tesa di infittimento			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.2}$	0	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.2}$	0	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.2}$	0	[mm^2]

Caratteristiche dei materiali			
Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck}	37	[MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm}	3.3	[MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	34545	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s	210000	[MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE			
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	166.9	[MPa]
Asse neutro della sezione	x	87.64	[mm]
Tipo e durata dei carichi applicati		Breve	
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e	6.08	[-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s	1005	[mm^2]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff.1}$	170000	[mm^2]
	$A_{c,eff.2}$	104120	[mm^2]
	$A_{c,eff.3}$	200000	[mm^2]
	$A_{c,eff.min}$	104120	[mm^2]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0.00966	[-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	3.3	[MPa]
Fattore di durata del carico	k_t	0.6	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{min}$	0.000477	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{calc.}$	-0.000249	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]$	**0.000477**	**[-]**
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	200	[mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq}	16.00	[mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	340	[mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1	0.800	[-]
	k_2	0.500	[-]
	k_3	3.400	[-]
	k_4	0.425	[-]
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max.1}$	486	[mm]
	$s_{r,max.2}$	406	[mm]
	$s_{r,max}$	**486**	**[mm]**
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k.lim}$	0.40	[mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	**w_k**	**0.23**	**[mm]**

One must verify that:

$$w_k = 0.23\text{mm} < 0.40\text{mm}$$

The cracking verification in ordinary atmosphere is satisfied.

Titolo : Myy- per fessurazione QP

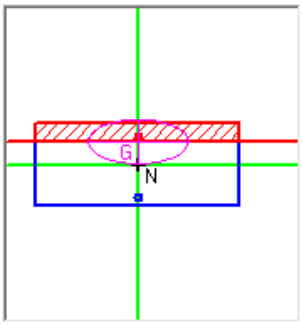
N° figure elementari 1 Zoom

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10,05	6,8
2	10,05	36,2

Tipo Sezione
- (•) Rettan.re ( ) Trapezi
- ( ) a T ( ) Circolare
- ( ) Rettangoli ( ) Coord.
- ( ) DXF



Sollecitazioni
S.L.U. → ← Metodo n

N_{Ed}	0	0	kN
M_{xEd}	0	51,0	kNm
M_{yEd}	0	0	

P.to applicazione N
- (•) Centro ( ) Baricentro cls
- ( ) Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo
- ( ) S.L.U.+ ( ) S.L.U.-
- (•) Metodo n

Materiali

	B450C		C30/37
ε_{su}	67,5 ‰	ε_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391,3 N/mm²	ε_{cu}	3,5
E_s	200.000 N/mm²	f_{cd}	17
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0,8 ?
ε_{syd}	1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	11,5
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	τ_{co}	0,6933
		τ_{c1}	2,029

σ_c	-3,274 N/mm²		
σ_s	153,8 N/mm²		
ε_s	0,7689 ‰		
d	36,2 cm		
x	8,764	x/d	0,2421
		δ	0,7426

Verifica

N° iterazioni: 4

☐ Precompresso

Geometria della sezione			
Altezza della sezione	h	400	[mm]
Larghezza della sezione	b	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	332	[mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d'	38	[mm]
Ricoprimento dell'armatura	c	60	[mm]
Armatura tesa ordinaria			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.1}$	5	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.1}$	16	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.1}$	1005	[mm^2]
Armatura tesa di infittimento			
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f.2}$	0	[-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f.2}$	0	[mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf.2}$	0	[mm^2]

Caratteristiche dei materiali			
Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	f_{ck}	37	[MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f_{ctm}	3.3	[MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E_{cm}	34545	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E_s	210000	[MPa]

DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE			
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	153.8	[MPa]
Asse neutro della sezione	x	87.64	[mm]
Tipo e durata dei carichi applicati		Breve	
Coefficiente di omogeneizzazione	α_e	6.08	[-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A_s	1005	[mm^2]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff.1}$	170000	[mm^2]
	$A_{c,eff.2}$	104120	[mm^2]
	$A_{c,eff.3}$	200000	[mm^2]
	$A_{c,eff.min}$	104120	[mm^2]
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0.00966	[-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	3.3	[MPa]
Fattore di durata del carico	k_t	0.6	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{min}$	0.000439	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]_{calc.}$	-0.000311	[-]
	$[\varepsilon_{sm}-\varepsilon_{cm}]$	**0.000439**	**[-]**
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	200	[mm]
Diametro equivalente delle barre	ϕ_{eq}	16.00	[mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	340	[mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	k_1	0.800	[-]
	k_2	0.500	[-]
	k_3	3.400	[-]
	k_4	0.425	[-]
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max.1}$	486	[mm]
	$s_{r,max.2}$	406	[mm]
	$s_{r,max}$	**486**	**[mm]**
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k.lim}$	0.30	[mm]
Ampiezza delle fessure (di calcolo)	**w_k**	**0.21**	**[mm]**

One must verify that:

$$w_k = 0.21\text{mm} < 0.30\text{mm}$$

The cracking verification in ordinary atmosphere is satisfied.

8.7 Shear

The unit base cross-section and constant height of 40cm is reinforced for shear according to:

- 1d12/20x20 (vertical shear pins)

The maximum calculation stress found outside the overlapping areas of the slab on the plinths and outside the areas concerned in the subsequent puncture tests, in compliance with Figure 25, is:

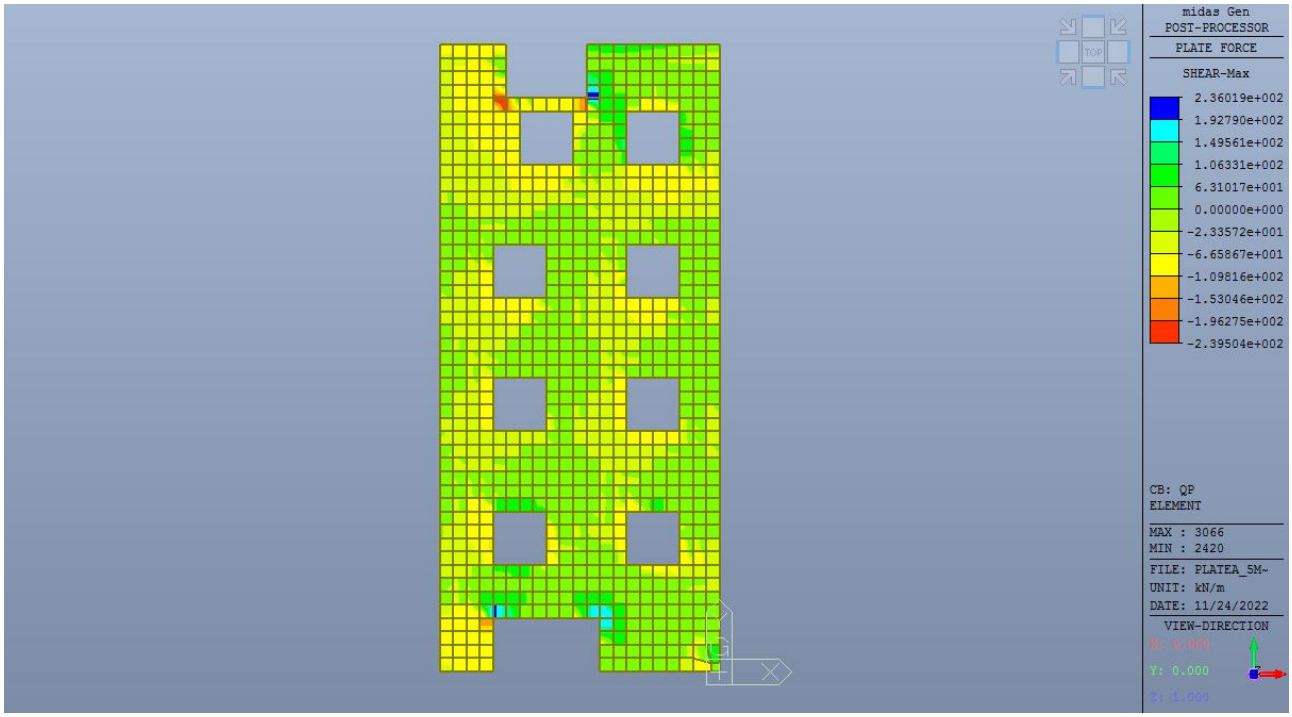


Figure 25 –V_{max} Shear verification

$V_{max,Ed}$ = 239.5kN/m

The strength test output is:

GEOMETRIA DELLA SEZIONE

Base della sezione	bw	**1000**	mm
Altezza della sezione	h	**400**	mm
Tolleranza di posa copriferro	dc	**0**	mm
Copriferro nominale da NTC	c	**-**	mm
Copriferro nominale personalizzato	c,pers	**60**	mm
Altezza utile della sezione	d	**320**	mm

DATI DI ARMATURA

Numero ferri longitudinali corrente teso	nsl	**5**	ad
Diametro ferri longitudinali corrente teso	ϕsl	**16**	mm
Area totale ferri longitudinali corrente teso	Asl	**1005**	mm^2
Presenza di armatura resistente a taglio	Atag	**SI**	
Diametro staffe	ϕsw	**12**	mm
Numero bracci staffe	nb	**5**	ad
Passo staffe	sw	**200**	mm
Angolo di inclinazione delle staffe rispetto all'asse dell'elemento	αw	**90**	deg
Area totale staffe nello sviluppo di un metro di elemento	Asw/m	**2827**	mm^2/m
Numero ferri piegati in parallelo	np	**0**	ad
Diametro ferri piegati	ϕp	**0**	mm
Passo ferri piegati (misurato nel senso longitudinale dell'elemento)	sp	**0**	mm
Angolo di inclinazione dei ferri piegati rispetto all'asse dell'elemento	αp	**0**	deg
Area totale piegati nello sviluppo di un metro di elemento	Asp/m	**0**	mm^2/m

DATI DI SOLLECITAZIONE

Taglio agente in comb. ultima SLU-SLV	VEd	**239.50**	kN
Azione assiale agente in comb. ultima SLU-SLV (compressioni positive)	NEd	**0.00**	kN

DATI DI CALCOLO

Contributo alla resistenza dell'armatura longitudinale	eff. spin.	**SI**	
Inclinazione della biella compressa	ctgθ	**1.00**	ad
Angolo di inclinazione della biella compressa	θ	**45.00**	deg
Parametri di calcolo della resistenza a taglio VRd,max per elementi senza apposite armature trasversali	k	**1.79**	ad
	νmin	**0.46**	ad
	ρl	**3.14E-03**	ad
Tensione media di compressione nella sezione	σcp	**0.00**	MPa

VERIFICA A ROTTURA PER TAGLIO

Resistenza a taglio in assenza di specifica armatura	VRd,max	**148.71**	kN
Resistenza a taglio-compressione	VRcd	**1252.97**	kN
Resistenza a taglio-trazione contributo staffe	VRsd,w	**318.64**	kN
Resistenza a taglio-trazione contributo ferri piegati	VRsd,p	**0.00**	kN
Resistenza a taglio-trazione elemento	VRsd	**318.64**	kN
Resistenza a taglio dell'elemento	VRd	**318.64**	kN
Coefficiente di sicurezza	**c.s.**	**1.330**	

One must verify that:

$$V_{Rd} = 318.7kN/m > 239.5kN/m$$

The strength test is satisfied.

8.8 Puncture

The unit base cross-section and constant height of 40cm whose puncture reinforcement is:

- 1d16/20x20 upp.

The maximum calculation stress is, according to Figure 26 :

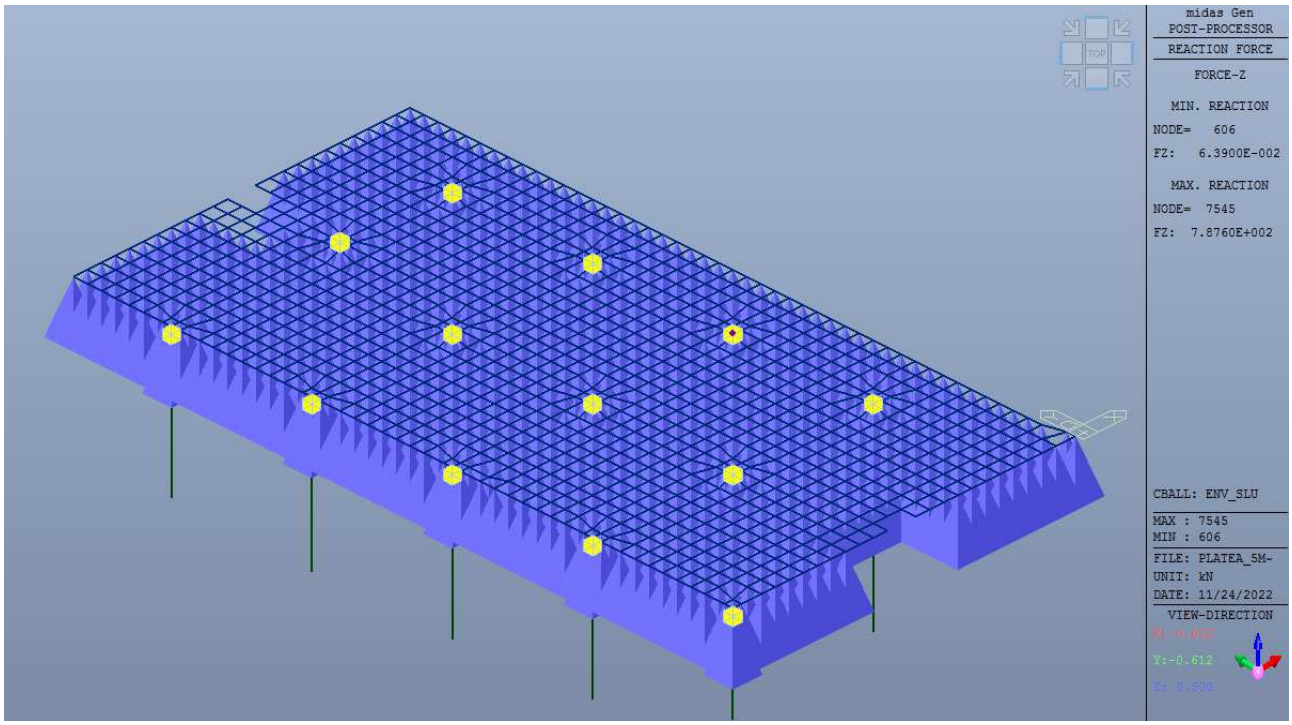


Figure 26 - V_{Ed} Puncture test

V_{Ed} = 787.0kN

The strength test output is:

VERIFICA A TAGLIO-PUNZONAMENTO SECONDO § 6.4 - EUROCODICE 2

Sollecitazioni

Azione di punzonamento allo SLU	V_{Ed}	**787.0**	kN	
Momento piastra allo SLU intorno a y per ferri z	$M_{Ed,zz}$	**0.0**	kNm	
Momento piastra allo SLU intorno a z per ferri y	$M_{Ed,yy}$	**0.0**	kNm	

Dati generali

Posizione elemento punzonante	Posiz.	**interno**	-	
Diametro elemento punzonante	D	**600**	mm	
Altezza piastra	h	**400**	mm	
Copriferro barre y	c_y	**60**	mm	
Copriferro barre z	c_z	**76**	mm	
Diametro barre tese direzione y	ϕ_y	**16**	mm	
Diametro barre tese direzione z	ϕ_z	**16**	mm	
Altezza utile ferri y	d_y	332	mm	
Altezza utile ferri z	d_z	316	mm	
Altezza utile effettiva	d_{eff}	324	mm	
Area caricata	A_{load}	282743	mm^2	
Distanza perimetro di verifica di base u_1	d_1	**2d**	-	
Perimetro di verifica di base u_1	u_1	5956	mm	
Perimetro elemento punzonante	u_0	1885	mm	
Passo barre tese in direzione y	s_y	**200**	mm	
Passo barre tese in direzione z	s_z	**200**	mm	
Area di acciaio tesa direzione y	A_{sy}	1005	mm^2/m	*Armatura SUFFICIENTE*
Area di acciaio tesa direzione z	A_{sz}	1005	mm^2/m	*Armatura SUFFICIENTE*
Percentuale di acciaio direzione y	ρ_{ly}	0.0030	-	
Percentuale di acciaio direzione y	ρ_{lz}	0.0032	-	
Percentuale di acciaio di calcolo	ρ_l	0.0031	-	
Area di verifica di base	A_{cont}	2823362	mm^2	
Pressione del suolo SLU	σ_{Ed}	**0.009**	MPa	
Forza netta rivolta verso l'alto nel perimetro di verifica	ΔV_{Ed}	25.41	kN	
Forza tagliante ridotta applicata allo SLU	$V_{Ed,red}$	762	kN	

Calcolo del taglio-punzonamento

Calcestruzzo in uso	Classe	**C30/37**	MPa	
Parametro β – EC2 formula (6.42)	β	1.15	-	
Tensione massima di taglio sul perimetro u_1	$v_{Ed,u1}$	0.454	MPa	
Tensioni normali in direzione y - EC2 6.4.4 (1)	σ_{cy}	**0.00**	MPa	
Tensioni normali in direzione z - EC2 6.4.4 (1)	σ_{cz}	**0.00**	MPa	
Tensioni normali di progetto	σ_{cp}	0.00	MPa	
Parametro k - EC2 (6.47)	k	1.79	-	
Parametro k_1 - EC2 (6.47)	k_1	0.10	-	
Parametro ν_{min} - EC2 (6.47)	ν_{min}	0.03	-	
Valore di progetto del taglio-punz. resistente	$v_{Rd,c}$	0.454	MPa	
Valore di progetto del massimo taglio-punz. resistente	v_{Rd}	0.454		
Distanza tra contorno elemento e perimetro di verifica	a	648	mm	
Coefficiente di sicurezza	c.s.	**1.00**	-	*NO armatura specifica*

Controllo della sezione in calcestruzzo

Tensione massima di taglio sul perimetro u_0 - EC2 (6.5.:	$v_{Ed,u}$	1.482	MPa	
Parametro ν - EC2 (6.6)	ν	0.53	-	
Resistenza a taglio-punzon. in adiacenza all'elemento	$v_{Rd,max}$	4.58	MPa	
Coefficiente di sicurezza	c.s.	**3.09**	-	*Sezione cls SUFFICIENTE*

8.9 Structural joint

As already described in Chapters 1 and 6 of this document, “saddleback” structural joints are active on this slab. In the following image (Figure 27) there is the shear stress V_{yy} that concerns the joint:

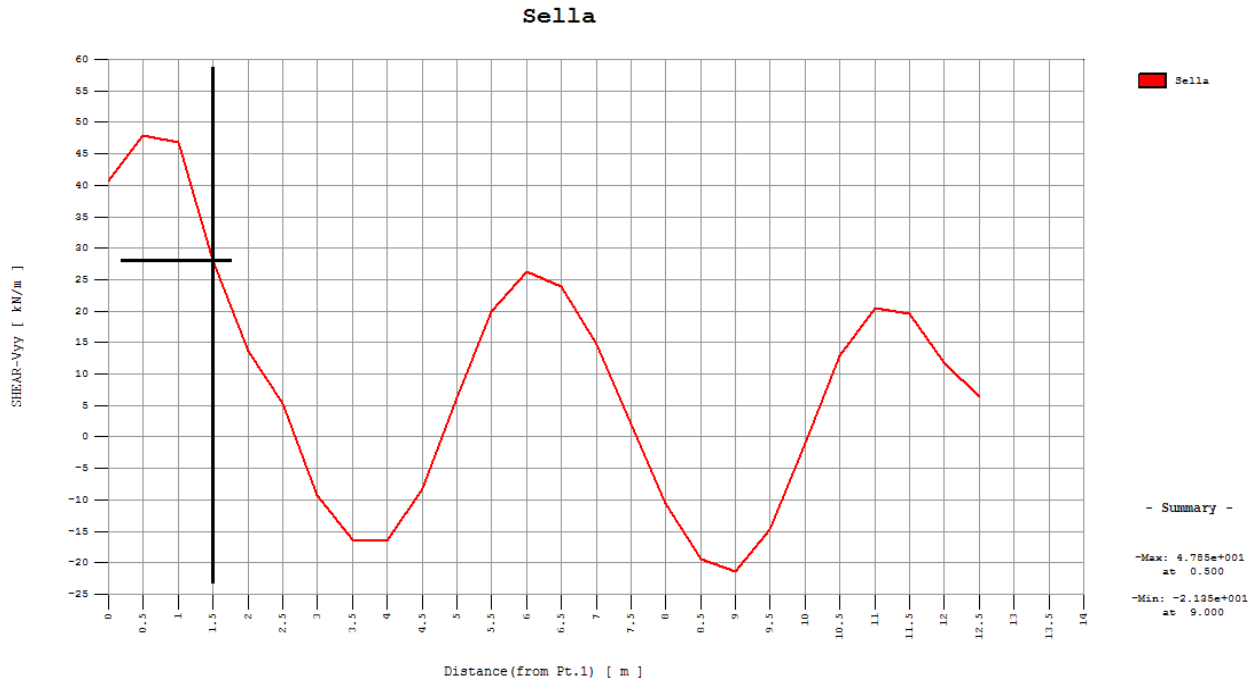


Figure 27 - Shear stress at the height of the structural joint

The image shows the diagram of the shear stress along a normal cross-section of the joint, traced in the position that maximizes the value of the same stress. The position of the reading on the above mentioned cross-section is reported on the diagram’s abscissas axis, it is measured from the external edge of the slab portion, while in the ordinate axis there is the value of the corresponding shear stress. In particular, the abscissa value that is equal to 1.5m, is representative of the presence of the joint.

We can conclude that:

$$\mathbf{V_{yy,Ed} = 28.1kN/m}$$

The unit base cross-section that composes the saddle has a constant height of 20cm and is reinforced according to:

- 1d16/20 upp.
- 1d16/20 low.
- Brackets with 2 arms d10/20

The strength test output of the stocky shelf resulting from the calculation measure and height of 20cm:

Firmato digitalmente da
Claude Raymond Van Steenwinkel
SerialNumber = TINIT-VNSCDR59E20Z103X

TERISTICHE GENERALI DELL'OPERA

ominale (Tab. 2.4.I NTC)	VN	**50 anni**
pologia di elemento da verificare (Tab. C4.1.IV Circ.617/09)	elemento	**Piastra c.a.**
Condizioni ambientali (Tab. 4.1.III NTC)	cond. amb.	**Ordinarie**

MATERIALI IMPIEGATI

Calcestruzzo

Livello di conoscenza (Tab. C8A.1.2 Circ.617/09)	LC	**Nuovo**	
Modalità di getto dell'elemento	getto	**Opera**	
Classe di resistenza del calcestruzzo	Cfck/Rck	**C30/37**	MPa
Resistenza di calcolo a compressione	fcd	**17.40**	MPa

Acciaio in tondo da c.a.

Livello di conoscenza	LC	**Nuovo**	
Acciaio **NTC**	tipo	**B450C**	MPa
Resistenza di progetto dell'acciaio	fyd	**391.30**	MPa

GEOMETRIA DELLA SEZIONE

Altezza della sezione	h	**200**	mm
Copriferro nominale (C4.1.6.1.3 Circ.617/09)	c	-	mm
Copriferro personalizzato	c,pers	**60**	mm
Altezza utile della sezione	d	**132**	mm
Base della sezione	b	**1000**	mm
Sbalzo netto della mensola	L	**200**	mm
Punto di applicazione del carico	a	**200**	mm
Sbalzo di calcolo mensola	l	**226**	mm
Angolo di inclinazione del puntone compresso	Y	**28**	deg
Snellezza elemento (applicabilità del metodo)	λ	**1.91**	**SI**

DATI DI ARMATURA

Diametro ferri longitudinali corrente teso	fsl	**16**	mm
Numero ferri longitudinali corrente teso	nsl	**5**	ad
Area totale ferri longitudinali corrente teso	Asl	**1005**	mm2
Diametro staffe nel piano verticale	fsw	**10**	mm
Numero bracci staffe	nsw	**5**	ad
Passo staffe	sw	**200**	mm
Area utile staffe nello sviluppo "a"	Asw	**2011**	mm2

DATI DI SOLLECITAZIONE

Carico verticale agente in combinazione ultima (SLU o SLV)	PEd	**28.10**	kN
Carico orizzontale agente in combinazione ultima (SLU o SLV)	HEd	**0.00**	kN

VERIFICA A ROTTURA

Portanza della mensola in termini di resistenza dell'armatura	PRS	**206.42**	kN
Portanza della mensola in termini di resistenza del puntone compresso	PRC	**297.57**	kN
Coefficiente di sicurezza	**c.s.**	**1.442**	